



OPINNÄYTETYÖ

Kertopuuviilujen esikuivauksen hyödyt ja vaikutus lopputuotteeseen

TEKIJÄ: Miika Lappalainen

Koulutusala Tekniikan ja liikenteen ala			
Koulutusohjelma Puutekniikan koulutusohjelma			
Työn tekijä Miika Lappalainen			
Työn nimi Kertopuuviilujen esikuivauksen hyödyt ja vaikutus lopputuotteeseen			
Päiväys	5.2.2015	Sivumäärä/Liitteet	43/3
Ohjaajat Risto Pitkänen, pt.tuntiopettaja ja Mauno Multamäki, projekti-insinööri			
Toimeksiantaja/Yhteistyökumppani(t) Korwensuun Konetehdas Oy, Metsä Wood			
<p>Tiivistelmä</p> <p>Opinnäytetyön tarkoitus oli tutkia kertopuun valmistukseen käytettävien puuviilujen esikuivausta. Työn tavoitteena oli selvittää mitä hyötyjä esikuivauksen avulla voidaan saavuttaa ja mikä vaikutus sillä on lopputuotteen näkökulmasta. Opinnäytetyön aihe on saatu Korwensuun Konetehdas Oy:ltä, joka kehittää uusia menetelmiä puun modifiointiin liittyen. Korwensuun Konetehtaan lisäksi yhteistyötä tehtiin Metsä Woodin Lohjalla sijaitsevan kertopuutehtaan kanssa.</p> <p>Työ aloitettiin tutustumalla esikuivauksen teorian periaatteisiin ja Korwensuun tekemien aiempien testien kulkuun sekä niiden tuloksiin. Tämän jälkeen Metsä Woodilta saaduille tuoreille puuviiluille suoritettiin esikuivaustestit, sekä muut kuivaukseen liittyvät toimenpiteet Kuopiossa Korwensuun tiloissa. Seuraavassa vaiheessa kuivatuista viiluista valmistettiin Savonia-ammattikorkeakoulun puulaboratoriossa kertopuulevyjä. Valmistetuista kertopuulevyistä sahattiin testikappaleet, jotka testattiin Lohjalla Metsä Woodin tiloissa. Kokeellisessa osassa tutkittiin puuviiluissa tapahtuneita muutoksia kuivausprosessin eri vaiheissa, sekä näistä viiluista valmistettujen kertopuulevyjen ominaisuuksia leikkaus- ja taivutuslujuustestien avulla.</p> <p>Työn tuloksista on nähtävissä esikuivauksen mahdollisuudet. Esikuivauksen avulla viiluista onnistuttiin poistamaan vettä pelkän kylmäpuristuksen avulla. Esikuivauksen seurauksena viilut olivat kuivempia ja ohuempia verrattuna referenssisarjan vastaaviin viiluihin. Kosteudesta saatiin poistettua käytetyllä puristuspaineella noin 4 - 6 % esikuivauksen aikana. Esikuivauksella ei ollut heikentävää vaikutusta valmistettujen kertopuulevyjen lujuusominaisuuksia tarkasteltaessa. Esikuivauksella poistetun kosteuden määrä jäi toivottua alhaisemmaksi. Korkeamman puristuspaineen vaikutuksia esikuivauksen tehostamiseksi ei ollut mahdollista tarkastella opinnäytetyön puitteissa laitteistosta johtuen.</p> <p>Teoriassa menetelmän avulla voidaan tehostaa kuivausprosessin toimintaa ja saavuttaa samalla vuositasolla mittavia rahallisia säästöjä. Käytännönläheisen tutkimuksen ja tulosten perusteella esikuivaus vaikuttaa menetelmänä lupaavalta myös käytännössä. Saadut tulokset ovat lupaavia ja oikean suuntaisia, mutta eivät silti riittäviä. Kattavamman jatkotutkimuksen teko lupaavan menetelmän suhteen on kannattavaa ja tarpeellista.</p>			
Avainsanat esikuivaus, puristuskuivaus, puuviilu, kertopuu			

Field of Study Technology, Communication and Transport			
Degree Programme Degree Programme in Wood Technology			
Author Miika Lappalainen			
Title of Thesis Pre-drying of Kertopuu veneer: The benefits and effects on the final product			
Date	5 February 2015	Pages/Appendices	43/3
Supervisors Mr. Risto Pitkänen, Lecturer and Mr. Mauno Multamäki, Project Engineer			
Client Organisation /Partners Korwensuun Konetehdas Oy, Metsä Wood			
<p>Abstract</p> <p>The purpose of this thesis was to study the pre-drying of Kertopuu veneer. The aim was to find out what benefits can be achieved through pre-drying and what effects it has from the final product's point of view. The topic was obtained through Korwensuun Konetehdas Ltd which aims to develop new methods related to modification of wood. The study was carried out in cooperation with the Metsä Wood.</p> <p>The work was started by getting familiar with the theory of pre-drying and with the previous studies made by Korwensuu. After this the pre-drying tests and other drying related tasks were carried out to the fresh wood veneer obtained from Metsä Wood. In the next phase dried veneer was prepared and manufactured to kertopuu boards in the wood laboratory of Savonia University of Applied Sciences. Kertopuu boards were then cut to appropriate test samples which were tested in Lohja at Metsä Wood premises. The changes in the wood veneer during the different stages of the drying process as well as the material characteristics of manufactured kertopuu boards were studied in the experimental part of the thesis.</p> <p>The possibilities of pre-drying can be seen from the results. The removal of water was accomplished just by cold pressing the veneer. As a result of the pre-drying, the veneers were thinner and drier compared to the reference samples which were dried in the ordinary way. Around 5% of the moisture was removed during the pre-drying process with the pressures used in the pressing process. Pre-drying did not have a negative impact on the strength properties of the material. However, the amount of moisture removed during the process was lower than desired. Because of inadequate equipment the usage of higher pressing pressures could not be applied to enhance the effect of the process.</p> <p>In theory, the method can be used to enhance the drying process, and financial savings can be achieved on annual basis. Based on the pragmatic studies and their results the pre-drying method seems promising also in practice. The obtained results are promising and pointing to the right direction, but are still insufficient. A more comprehensive follow-up study on this promising method should be viable and necessary.</p>			
<p>Keywords</p> <p>pre-drying, veneer, kertopuu, LVL (Laminated Veneer Lumber)</p>			

ESIPUHE

Haluan kiittää Korwensuun Konetehtaan Pekka Ritvasta opinnäytetyön aiheesta, sekä siihen liittyneestä yhteistyöstä. Kiitokset myös Metsä Woodin väelle mahdollisuudesta osallistua Lohjalla tapahtuneeseen tutkimukseen. Lisäksi haluan kiittää ohjaavia opettajiani Risto Pitkästä ja Mauno Multamäkeä asiantuntevasta ohjauksesta työhön liittyen.

Helsingissä 5.2.2015

Miika Lappalainen

SISÄLTÖ

1	JOHDANTO	7
2	KERTOPUU RAKENNUSMATERIAALINA	8
3	KERTOPUUN VALMISTUSPROSESSI	10
3.1	Tukkien esikäsittely	10
3.2	Viilun sorvaus	11
3.3	Viilujen kuivaus	11
3.4	Liimaus	11
3.5	Sahaus ja paketointi	12
3.6	Lohjan kertopuutehtaan materiaalivirrat	12
4	ESIKUIVAUKSEN MERKITYS JA TAVOITEET	13
5	VIILUJEN ESIKUIVAUS JA KERTOPUULEVYJEN VALMISTUS	14
5.1	Alkutilanne ja viilujen valinta	14
5.2	Viilujen modifiointi	14
5.2.1	Esikuivaussarjat	16
5.2.2	Referenssisarja	16
5.3	Esikuivausprosessin tiedonkeruu	16
5.4	Kertopuulevyjen valmistus	17
6	KOEKAPPALEIDEN VALMISTUS JA TESTAUSMENETELMÄT	22
6.1	Koekappaleiden valmistus	22
6.2	Koekappaleiden testaus	23
6.2.1	Taivutuslujuus	23
6.2.2	Leikkauslujuus	24
6.2.3	Kosteusmäärittäminen	25
6.2.4	Keittokoe	26
7	VIILUJEN KUIVAVAIHEEN TULOKSET	27
7.1	Kosteuden poistuminen ja massan muutokset kuivausprosessin eri vaiheissa	27
7.2	Viilujen paksuuden muutokset	28
8	KOEKAPPALEILLE TEHTYJEN TESTIEN TULOKSET	32
8.1	Taivutuslujuustesti	32
8.2	Leikkauslujuustesti	33
8.3	Kosteusmittaus	34

8.4	Paksuusmittaus ja koekappaleiden tiheys	34
8.5	Keittokoe.....	36
8.6	Tulosten luotettavuus.....	36
9	JOHTOPÄÄTÖKSET, ARVIOINTI JA POHDINTA.....	38
	LÄHTEET	40
	LIITE 1: ESIKUIVAUKSEN PUNNITUSTULOKSET	41

1 JOHDANTO

Tuoreen puutavaran kuivaus on aina tärkeä osa valmistusprosessia, oli kyse sitten sahatavarasta tai muista puutuotteista. Puu tulee kuivata muodonmuutoksien ehkäisemiseksi, jotta se olisi käyttökelpoinen lopputarkoitukseensa. Puun kuivausprosessi ei ole kuitenkaan yksiselitteinen, sillä kuivaaminen synnyttää sekä kustannuksia että kuivausvirheitä, jotka käyttökohteesta riippuen voivat alentaa lopputuotteen laatua ja kelpaavuutta merkittävästi. Perinteisesti puun kuivaamisprosessi perustuu pitkälti lämpöenergian käyttöön, jossa ylimääräinen kosteus poistetaan puusta haihduttamalla. Lämpöenergian tuottaminen synnyttää merkittäviä energiakustannuksia, joita pyritään vähentämään optimoimalla kuivausta entistä tehokkaammaksi.

Puun esikuivauksella tarkoitetaan prosessia, joka tukee varsinaista kuivausmenetelmää. Nimensä mukaisesti esikuivausvaiheessa pyritään poistamaan puusta kosteutta jo ennen varsinaista kuivausvaihetta. Esikuivauksen pyrkimyksenä on tuoda säästöjä energiakustannuksissa, sekä vähentää puumateriaalin kuivaukseen kulunutta kokonaisaikaa. Lisäksi esikuivauksen avulla pyritään parantamaan lopputuotteen laatua. Esikuivauksen avulla pyritään siis saamaan koko kuivausprosessia tehokkaammaksi, jolloin myös koko tuotantoprosessi hyötyy siitä.

Tämän opinnäytetyön tarkoitus on tutkia mekaanisen puristuskuivauksen avulla suoritettavaa esikuivausta, sekä selvittää niitä hyötyjä, joita puun esikuivauksella voidaan saada aikaan. Opinnäytetyössä keskitytään tutkimaan kertopuun valmistukseen käytettävien havupuuviiilujen esikuivausta. Tähän kokonaisuuteen sisältyy kertopuuviiilujen esikuivaaminen, sekä varsinaisten kertopuulevyjen valmistus näistä viiluista. Valmistetuille kertopuulevyille tehtyjen testien pohjalta pyritään selvittämään esikuivauksen vaikutuksia verrattuna perinteiseen prosessiin. Opinnäytetyön aihe on saatu Korwensuun Konetehdas Oy:ltä. Olennaisena osana opinnäytetyötä on myös kertopuuta valmistava yritys Metsä Wood. Opinnäytetyön käytännön työvaiheet on toteutettu vuoden 2014 aikana.

Viiilujen esikuivaukseen liittyvät toimenpiteet on tehty Kuopiossa Korwensuun Konetehtaan laitteistolla. Kertopuulevyjen valmistus on suoritettu Savonia-ammattikorkeakoulun puutekniikan laboratoriossa. Lopulliset aineenkoestustestit on tehty Lohjalla Metsä Woodin kertopuutehtaan tutkimustiloissa.

2 KERTOPUU RAKENNUSMATERIAALINA

Kertopuu eli viilupuu valmistetaan liimaamalla 3 mm paksuista kuusiviiluista siten, että viilujen syysuunta on viilupuutuotteen pituussuuntaan. Erikoistuotteena valmistetaan myös sellaista viilupuuta, jossa osa viiluista voi olla asennettu ristiin. Viilut ovat hiomattomia ja paikkaamattomia, mutta tilauksesta voidaan valmistaa viilupuuta, jossa pintaviilut ovat valikoituja ja hiottuja. Viilupuuta on saatavilla erilaisilla pintakäsittelyillä ja myös AB luokkaan painekyllästettynä. Viilupuun enimmäisleveys on noin 2,5 m ja enimmäispituus noin 25 m. (Puuinfo.fi.)

Kerto-tuotteita käytetään kaikkeen rakentamiseen uudisrakennuksista korjauskohteisiin ja teollisuuskäyttöön. Esimerkkejä käyttökohteista ovat palkit, pilarit, ristikot, kehät sekä ikkuna- ja oviteollisuuden komponentit. Yleisimpiä tuotenimikkeitä ovat Kerto-S kertopuupalkki, Kerto-Q kertopuulevy ja Kerto-T kertopuutolppa. Kertopuun etuja kilpaileviin tuotteisiin verrattuna ovat sen jäykkyys, mittatarkkuus ja suoruus. Viilurakenteen ansioista kertopuu on tasalaatuinen tuote, jossa yhdessä viilussa esiintyvä haitta ei vaikuta merkittävästi koko tuotteen kestävyys. Kertopuu on myös lujuusominaisuuksiltaan painoonsa nähden kestävä tuote. (Metsawood.fi.)

Suomessa kertopuuta valmistaa vain yksi yritys, Metsä Wood. Kertopuu onkin yrityksen rekisteröimä tavaramerkki ja maailmalla samankaltainen tuote tunnetaan nimellä Laminated Veneer Lumber, eli lyhyemmin LVL. Metsä Woodilla on Suomessa kaksi kertopuutehdasta, jotka sijaitsevat Lohjalla ja Punkaharjulla. Lohjan tehtaalla on kolme tuotantolinjaa, joista ensimmäinen on otettu käyttöön vuonna 1981. Punkaharjulla tuotantolinjoja on kaksi, joista ensimmäinen on otettu käyttöön 2001. Molemmat tehtaot valmistavat pääosin samoja tuotteita. (Metsäwood 2014, 2.) Taulukkoon 1 on koottu kahden edellä mainitun tehtaan oleelliset luvut.

Taulukko 1. Metsä Woodin kertotehtaat Suomessa (Lappalainen 2014)

	Lohja	Punkaharju
tuotantolinjat	3	2
tuotannon aloitus	1981	2001
	1985	2006
	1997	
max pituus (m)	25	20
max leveys (m)	1,8	2,5
paksuudet (mm)	21-75	21-90
tuotteet	S,Q,T	S,Q,T
kapasiteetti (m ³)	100 000	120 000

Metsä Group on metsäteollisuuskonserni, jonka liiketoiminnan ytimessä ovat pehmo- ja ruoanlaittopaperit, kartonki, sellu, puutuotteet sekä puunhankinta ja metsäpalvelut. Metsä Groupin strategiana on keskittää toimintaa, investointeja sekä voimavaroja niille alueille, joissa heillä on hyvät kasvunäkymät ja selvä kilpailuetu muihin nähden. Metsä Groupin toiminta ulottuu lähes 30 maahan ja tuotantoa sillä on yhdeksässä eri maassa. Liikevaihtoa konsernilla oli vuonna 2013 noin 4,9 miljardia euroa ja henkilöstöä 11 000. (Metsagroup.fi.)

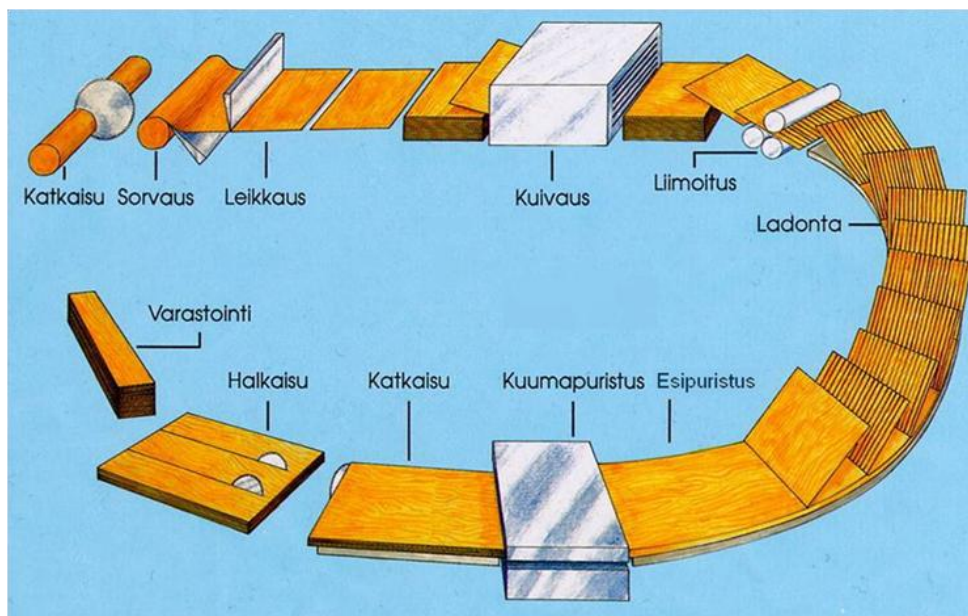
Metsä Groupin emoyhtiö on noin 123 000 metsänomistajan muodostama Metsäliitto Osuuskunta. Metsä Groupin toiminta taas on jaettu viiteen eri osa-alueeseen, joita ovat Metsä Forest, Metsä Wood, Metsä Tissue, Metsä Board ja Metsä Fibre (kuva 1). Puutuotteiden valmistukseen keskittyneen Metsä Woodin tärkeimpiä tuotteita ovat sahatavara, vaneri, kertopuu ja liimapuu. Metsä Woodin liikevaihto oli vuonna 2013 noin 900 miljoonaa euroa, tuolloin yritys työllisti 2500 henkilöä. (Metsagroup.fi.)



Kuva 1. Metsä Group organisaation rakenne vuonna 2013 (Metsagroup.fi)

3 KERTOPUUN VALMISTUSPROSESSI

Seuraavissa luvuissa on esitetty vaihe vaiheelta mitä kertopuun valmistusprosessiin Metsä Woodin Lohjan tehtaalla sisältyy. Prosessi alkaa tehtaalle tuotavien tukkien käsittelystä ja päättyy valmiiden kertopuutuotteiden paketointiin. Valmistusprosessi on esitetty kokonaisuudessaan kuvassa 2.



Kuva 2. Kertopuun valmistusprosessin vaiheet (Metsäwood 2014, 4)

3.1 Tukkien esikäsittely

Tehtaalle tuotavat tukkikuormat puretaan, joko tukkikentälle (kuva 3) tai suoraan tukkimittarille. Tämän jälkeen tukit kuoritaan, mitataan ja lajitellaan koon mukaan. Puita haudotaan vähintään vuorokauden ajan noin 50 °C vedessä, näin puuaines saadaan pehmenemään, jolloin viulun sorvaus helpottuu.



Kuva 3. Tukkikentälle purettuja tukkeja (Metsäwood 2014, 5)

3.2 Viilun sorvaus

Ennen viilun sorvausta tukit sahataan 191 cm pituisiksi pölleiksi (kuva 4). Näistä pölleistä sorvataan noin 3 mm paksuista viilumattoa, joka leikataan edelleen 2 metrin levyisiksi arkeiksi. Leikatut arkit lajitellaan niiden sisältämän kosteuden mukaan kahteen eri pinkkaan kuivauksen optimoimiseksi.



Kuva 4. Pöllejä matkalla sorvattavaksi (Metsäwood 2014, 6)

3.3 Viilujen kuivaus

Kuivaukseen käytetään kahta nelivälistä telakuivauskonetta. Viiluarkkien kuivaus tapahtuu 200 °C:n lämpötilassa, aikaa tähän kuluu noin 10 minuuttia. Kuivauksen jälkeen viilut lajitellaan kosteuden, lujuuden sekä visuaalisten vikojen koon ja määrän mukaan kymmeneen eri laatuluokkaan. Kaikki kuivaukseen tarvittava höyryenergia tuotetaan tehtaan biokattilalaitoksen avulla hyödyntämällä Lohjan tehtaan omia sivutuotteita. Kuivausprosessin poistoilmasta otetaan talteen lämpö, jota voidaan käyttää uudelleen.

3.4 Liimaus

Ennen liimausta viilujen päät viistetään, jonka jälkeen viilujen yläpinnalle levitetään liima. Liimaukseen käytetään fenoli-formaldehydihartsia. Viilut ladotaan jatkuvaksi laataksi (kuva 5), jonka paksuus voi vaihdella 21 mm:stä aina 75 mm:iin riippuen käytettävien viilujen määrästä. Valmistettavan laatan leveys on Lohjan tehtaalla 1,8 m ja maksimipituus jopa 25 m. Liimanlevityksen jälkeen laatta esipuristetaan, näin saadaan aikaan viilujen kiinnittyminen toisiinsa sekä liiman tasainen levittyminen viilujen välissä. Varsinaisesti levy kovettuu kuitenkin vasta kuumapuristuksen aikana, jolloin paineen ja lämpötilan vaikutuksesta liimasauma saa lopullisen kovuutensa. Kuumapuristuksessa käytetään 130–150 °C:n lämpötilaa. Tuotteen paksuudesta riippuen puristus aika vaihtelee 12–60 min välillä.



Kuva 5. Liiman levitys ja viilujen ladonta (Metsäwood 2014, 8)

3.5 Sahaus ja paketointi

Valmis kertopuulaatta katkaistaan ja sahataan (kuva 6) asiakkaan tarpeiden mukaisiin mittoihin, jonka jälkeen valmiit tuotteet paketoidaan muoviin kuljetusta varten.



Kuva 6. Kertopuulaatan sahaus asiakkaan tilaamiin mittoihin (Metsäwood 2014, 9)

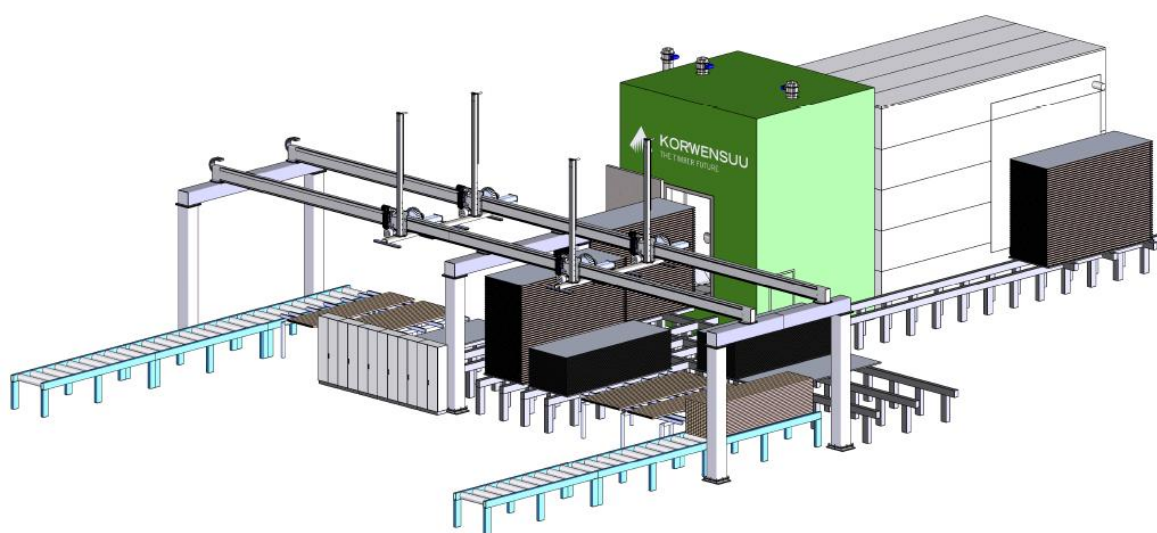
3.6 Lohjan kertopuutehtaan materiaalivirrat

Lohjan kertopuutehtaalle tuodaan päivittäin 24 rekkakuormallista tukkeja. Vastaavasti tehtaalta lähetetään eteenpäin päivittäin 10 rekkakuormallista valmiita kertopuutuotteita, 10 rekkakuormallista haketta paperinvalmistuksen tarpeisiin sekä neljä rekkakuormallista puun kuorta, murskettua ja sahanpurua poltettavaksi. Lohjan tehtaalla on kolme tuotantolinjaa, jotka pyörivät viidessä vuorossa seitsemänä päivänä viikossa, 350 päivää vuodessa.

4 ESIKUIVAUKSEN MERKITYS JA TAVOITEET

Esikuivauksella tarkoitetaan prosessia, jossa puusta poistetaan mekaanisesti vettä puristamalla ennen viilujen lopullista kuivausta. Viilujen perinteinen kuivaus vaatii paljon lämpöenergiaa, joka synnyttää merkittäviä kustannuksia. Sähkön korkean hinnan vuoksi olisi edullisempaa kuivata puuainesta energiatehokkaammin. Esikuivauksen avulla pyritään alentamaan energiankulutusta, ja näin ollen säästämään rahaa. Esikuivauksessa energiankulutuksen aleneminen saavutetaan mekaanisen puristuskuvauksen avulla, jolloin loppukuivaukseen kulunutta aikaa saadaan lyhennettyä. Samalla lyhennetään myös viilun kokonaiskuivausaikaa, jolla saadaan nopeutettua koko kertopuun valmistusprosessia. (Korwensuu 2014, 1–2.)

Puristuskuvauksessa kokonaista viilunippua puristetaan mekaanisesti kasaan ilman erityistä lämmitystä, jolloin viiluista saadaan vapautettua kosteutta vetenä. Erityistä hyötyä savutetaan niiden viilujen kohdalla, jotka ovat sorvauksen jälkeen kaikkein kosteimpia. Esikuivausta ei välttämättä ole tarkoitukseen suorittaa kaikille viiluille, vaan ainoastaan niille joiden kuivuminen normaalin kuivausprosessin keinoilla kestäisi keskimääräistä kauemmin. Nykyisin kuivausprosessin päätyttyä osa viiluista on edelleen liian kosteita, jolloin nämä viilut kierrätetään uudelleen koko prosessin läpi kunnes ne ovat seuraavan vaiheen vaatimassa kosteudessa. On myös mahdollista, että viilun loppukosteus on liian alhainen, jolloin viilu joudutaan hylkäämään. Esikuivauksen avulla pyritään vähentämään sekä viilujen uudelleenkuivauksen tarvetta että loppukuivauksen jälkeen hylättävien liian kuivien viilujen määrää. Esikuivauksen tavoitteena on lisäksi parantaa lopputuotteen laatua. (Korwensuu 2014, 1–2.)



Kuva 7. Esikuivauksjärjestelmän prototyyppi (Korwensuu 2014)

Kuvassa 7 on esimerkki siitä millaiselta valmis esikuivauksjärjestelmä voisi näyttää. Viilut kuljetetaan nippuissa esikuivauslaitteen sisälle, jonka jälkeen niistä puristetaan pois kosteutta ilman lämpöä. Tämän jälkeen viilunippu poistetaan laitteesta ja toimitetaan seuraavaan vaiheeseen. Kuvassa 7 on hahmoteltu laitteen takaseinää vasten rakennettu järjestelmä, jolla saadaan tasattua viilunippu.

5 VIILUJEN ESIKUIVAUS JA KERTOPUULEVYJEN VALMISTUS

Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli tarkastella millaisia hyötyjä kertopuun valmistukseen käytettävien kuusiviilujen esikuivaamisella saadaan aikaan. Työtä varten hankittiin puuviiluja, joita esikuivattiin ennen viiluille tehtävää normaalia kuivausprosessia. Esikuivauksen merkityksestä ja tavoitteista on kerrottu luvussa 4. Kuivatuista viiluista liimattiin edelleen kertopuulevyjä, joista sahattiin lopulta koekappaleita erilaisia testejä varten. Näiden testien perusteella on pyritty tuomaan esille niitä tekijöitä, joita viilujen esikuivaus on saanut aikaan. Vertailun vuoksi työtä varten valmistettiin myös kertopuulevyjä viiluista, joita ei esikuivattu.

5.1 Alkutilanne ja viilujen valinta

Opinnäytetyössä tarkasteltavat kuusiviilut on toimittanut Lohjalla toimiva Metsä Woodin kertopuu-tehdas. Viilut on sahattu kokeita varten suoraan tehtaan tuotantolinjalta saaduista tuoreista kuusivii-lumatoista. Sahatut viilut jaettiin neljään toisiaan vastaavaan sarjaan. Eri sarjojen viilut ovat toisten-sa rinnakkaiskappaleita, eli ne on sahattu yhdestä isommasta viilumatosta (kuva 8). Tällä tavoin on pyritty samaan tasalaatuisuutta ja vertailukelpoisuutta eri sarjojen välille. Viilut pyrittiin sahaamaan noin 500 mm x 1200 mm kokoisiksi. Lähtömateriaali on mahdollisimman samankaltaista kosteudel-taan ja tiheydeltään. Sarjoista kolmea ensimmäistä on pyritty esikuivaamaan puristuskuivausta hyö-dyntämällä Kuopiossa Korwensuun Konetehtaan tiloissa. Esikuivauksen jälkeen viiluille on suoritettu myös loppukuivaus. Neljäs sarja on ainoastaan loppukuivattu, jolloin se toimii vertailukelpoisena re-ferenssisarjana esikuivatuille sarjoille.



Kuva 8. Koeviilujen sahaus viilumatosta (Lappalainen 2014)

5.2 Viilujen modifiointi

Viilujen modifioinnilla tarkoitetaan sarjoille 1, 2 ja 3 tehtyä esikuivausta viilunippua puristamalla. Yh-den sarjan kaikki viilut on esikuivattu yhdellä kertaa, puristamalla kokonaista 120 viilun nippua (kuva 9). Kaikille kolmelle sarjalle on yhteistä käytetty puristusaine, sekä tavoitteena ollut 12 % kasaan-painuma. Puristusprosessi on siis päättynyt kaikkien sarjojen kohdalla siinä vaiheessa kun viilunippu on puristunut kasaan 12 % sen alkupaksuudesta.

Sarjojen välille on pyritty hakemaan vaihtelua puristuksen syklisyydellä. Syklistä puristusta voidaan luonnehtia tapahtumana, jossa puristettavaan esineeseen kohdistuva paine muuttuu tietyin väliajoin. Ensimmäisessä esikuivaussarjassa puristusta on kevennetty hetkellisesti viiden minuutin välein, kolmannessa sarjassa kahden minuutin välein. Toinen esikuivaussarja puristettiin tasaisella puristuspainella alusta loppuun. Tiedot sarjojen eroista on esitetty myös taulukossa 2. Sekä viilujen esikuivaus puristamalla että viilujen loppukuivaus on tehty Kuopiossa Korwensuun Konetehtaan laitteilla.



Kuva 9. Sarjan 1 viilut puristimessa, valmiina esikuivausta varten (Lappalainen 2014)

Taulukko 2. Viilusarjojen eroavaisuudet (Lappalainen 2014)

sarja	viiluja (kpl)	ESIKUIVAUS			LOPPUKUIVAUS
		puristamalla	puristuksen syklisyys	puristus päättyy kun kasaanpainuma on	ilman puristusta
1	120	kyllä	5 min	12 %	kyllä
2	120	kyllä	ei	12 %	kyllä
3	120	kyllä	2 min	12 %	kyllä
4	120	-	-	-	kyllä

5.2.1 Esikuivaussarjat

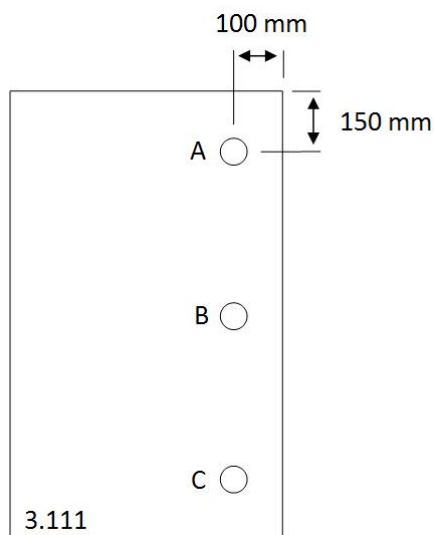
Sarjoja 1, 2 ja 3 on kaikkia esikuivattu puristamalla viiluja 12 kg/cm^2 pintapaineella. Prosessiin on haettu sarjojen välille vaihtelua puristuksen syklisyydellä. Ensimmäisessä sarjassa puristinlevyjä vaihdettiin viiden minuutin välein, kolmannessa sarjassa kahden minuutin välein. Sarjassa 2 syklistä puristusta ei hyödynnetty. Kaikkien sarjojen puristusprosessi oli ohjelmoitu päättymään viilunipun puristuessa kasaan 12 % alkuperäisestä paksuudestaan.

5.2.2 Referenssisarja

Sarja 4 toimii referenssisarjana kolmelle ensimmäiselle puristuskuivatulle sarjalle. Neljättä sarjaa ei ole puristuskuivattu, se on ainoastaan loppukuivattu. Loppukuivauksessa on käytetty samaa kaavaa kaikkien neljän sarjan kohdalla.

5.3 Esikuivausprosessin tiedonkeruu

Esikuivauksen sekä loppukuivauksen vaikutusten selvittämiseksi kaikkien sarjojen kaikki viilut punnittiin kolmessa eri vaiheessa. Ensimmäisen kerran viilut punnittiin tuoreeltaan heti kun viilut oli saatu sahattua Lohjalla. Toinen punnitus tehtiin Kuopiossa heti esikuivausprosessin jälkeen, ja kolmas punnitus loppukuivauksen jälkeen. Referenssisarjan viilut punnittiin vain alkutilanteessa ja loppukuivauksen jälkeen. Punnitusta hyödyntämällä on pyritty selvittämään poistuneen veden määrää kuivauksen eri vaiheissa. Viilut on punnittu gramman tarkkuudella.



Kuva 10: Mittauspisteiden sijainti (Lappalainen 2014)

Punnituksen lisäksi viilujen paksuutta tarkkailtiin mittaamalla jokaisen sarjan joka kymmenennen viilun paksuus kolmesta ennalta määritellystä kohdasta (kuva 10). Tulos viilun paksuudelle muodostetaan näiden kolmen mittaustuloksen keskiarvosta. Paksuuden muutoksia seuraamalla on mahdollista selvittää viilujen kasaanpuristumista valmistuksen eri vaiheissa. Paksuudet on taulukoitu millimetrin sadasosan tarkkuudella. Mittauksiin on käytetty tavanomaisia mittalaitteita, kuten työntömittaa ja

elektronista vaakaa. Vaikka mittauksiin käytetyt menetelmät ovat sinänsä yksinkertaisia, on niistä tehnyt työläitä mitattavien kappaleiden suuri lukumäärä. Mitattavia viiluja oli lähes 500 kappaletta, jolloin eri mittauskertoja kertyi lähes 1500. Esikuivausprosessista taltioidut mittaustulokset on esitetty luvussa 7.

5.4 Kertopuulevyjen valmistus

Metsä Wood käyttää teollisessa kertopuun valmistusprosessissa liimaukseen yleisesti fenoli-formaldehydihartsia (kuva 5). Tätä opinnäytetyötä varten valittiin kuitenkin poikkeavasti käytettäväksi kalvotyyppinen liima-aine. Suurin syy kalvoliiman valinnalle oli kyseisen liiman helpompi käsiteltävyys tehdasolosuhteiden ulkopuolella verrattuna nestemäiseen liimaan, jonka käsittelyaika olisi ollut hyvin rajallinen. Käyttämällä kalvoliimaa oli mahdollista yksinkertaistaa ja nopeuttaa käsin tehtävää kertopuulevyjen valmistusta. Metsä Woodilla oli myös jonkin verran aiempaa kokemusta kalvoliiman käytöstä viilujen liimauksessa, joten sitä päätettiin käyttää myös tämän projektin koelevyjen valmistukseen.

Kalvoliima toimitettiin yhtenä 130 cm leveänä rullana, jossa kalvoa oli noin 500 m. Rullaa varten rakennettiin systeemi, jonka avulla rullasta oli mahdollista leikata sopivan kokoisia liima-arkkeja (kuva 11). Liimakalvo on käytännössä paperia, johon on imeytetty lämpötilan kanssa reagoiva liima-aine. Käytetty liimakalvo ei ole varsinaisesti tarkoitettu kahden pinnan yhteen liimaamiseen, vaan ennemminkin vanerin pinnoituskalvoksi. Kyseessä on siis samankaltainen kalvo, jolla filmivaneriakkin pinnoitetaan.



Kuva 11. Liimakalvon leikkausta varten rakennettu systeemi (Lappalainen 2014)

Koelevyjen valmistus lähti liikkeelle liimakalvon leikkaamisesta sopivan kokoisiksi arkeiksi, jotka voitiin tämän jälkeen asetella liimattavien viilujen väliin. Valmistetut levyt liimattiin 13 ply rakenteella, eli levyt koostuivat 13 yksittäisestä päällekkäin ladotusta viilusta. Tässä rakenteessa levyyn syntyi 12 saumaa, joihin jokaiseen laitettiin kaksi liima arkia päällekkäin riittävän liimautumisen aikaansaamiseksi. Yhteen valmistettavaan koelevyyn tarvittiin näin ollen 24 arkia, eli noin 12 metriä liimakalvoa. Yhteensä arkkeja tuli leikata 32 levyä varten 768 kappaletta, eli noin 384 metriä. Todellisuudessa kulutus oli suurempi, sillä liima-arkeista leikattiin tarkoituksella hieman suurempia viilun kokoon nähden. Lisäksi liimakalvo oli melko haurasta, joka johti toisinaan kalvon repeytymiseen ja hukkapalojen syntymiseen sitä käsiteltäessä. Vaikka kalvoliiman käsittely olikin helpompaa verrattuna nestemäiseen liimaan, oli liimausprosessi silti työläs työvaiheiden- ja levyjen määrän takia.



Kuva 12. Savonia-ammattikorkeakoulun Orma Macchine kuumalevyipuristin (Lappalainen 2014)

Metsä Woodilta saadun tiedon mukaan liimakalvon sulamisen varmistamiseksi lämpötilan tulisi nousta ainakin 100 °C:seen, puristusajaksi arveltiin tällöin 22 min. Savonia-ammattikorkeakoulun kuumapuristimessa (kuva 12) on lämmitettävät vastuslevyt, joista molemmat voidaan lämmitää maksimissaan 150 °C:seen. Puristimeen aseteltiin kerrallaan rinnakkain kaksi viilunippua liima-arkkeineen, näin valmistusaikaa saatiin lyhennettyä puoleen sen sijaan, että olisi valmistettu vain yksi levy kerrallaan. Levyt puristettiin 12 kg/cm² paineella, joka oli käytetyn puristimen maksimi paine tämän kokoiselle pinta-alalle. Puristimen molemmat vastuslevyt lämmitettiin niin ikään maksimilämpötilaan 150 °C.

Olennaista oli, että puristettavan levyn keskimmainen sauma saavuttaa tarvittun lämpötilan, koska juuri se lämpenee saumoista viimeisenä. Lämpötilan mittaamista varten muutaman levyn keskimmaiseen saumaan asetettiin lämpötila-anturit. (kuva 13). Lämpötilan vaihtelu ensimmäisten 25 min aikana on esitetty taulukossa 3. Lämpötilaa seuraamalla kävi ilmi, että levyn keskimmainen sauma saavutti 100 °C:n lämpötilan noin 22–24 min kuluttua puristusprosessin alkamisesta. Tämän jälkeen ensimmäiset levyt otettiin pois puristimesta, olettaen puristuksen onnistuneen. Tällöin voitiin kuitenkin selvästi havaita, ettei liimautuminen ollut onnistunut. Liimakalvo ei ollut kiinnittynyt lainkaan osaan viiluista, eikä kalvo näyttänyt juurikaan sulaneen odotetulla tavalla. Koska työn tarkoituksena ei ollut niinkään tutkia levyjen liimautumista päätettiin puristusaikaa pidentään jopa tuntiin liimauksen onnistumisen varmistamiseksi. 60 min jälkeen, puristuksen päättyessä levyjen keskimmaisen sauman lämpötila oli noussut noin 130 °C:seen.

Taulukko 3. Levyn keskimmaisen sauman lämpötila (Lappalainen 2014)

kulunut aika (min)	LEVY 1		LEVY 2	
	anturi 1 (°C)	anturi 2 (°C)	anturi 3 (°C)	anturi 4 (°C)
5	40,3	40,0	40,5	40,9
10	60,0	59,2	61,6	60,1
15	76,4	75,2	79,1	76,9
20	90,8	89,4	93,9	91,4
21	93,2	92,1	96,5	93,9
22	95,8	94,7	99,3	96,4
23	98,2	97,0	101,9	99,0
24	100,9	99,6	104,4	101,5
25	103,1	102,0	106,8	103,9

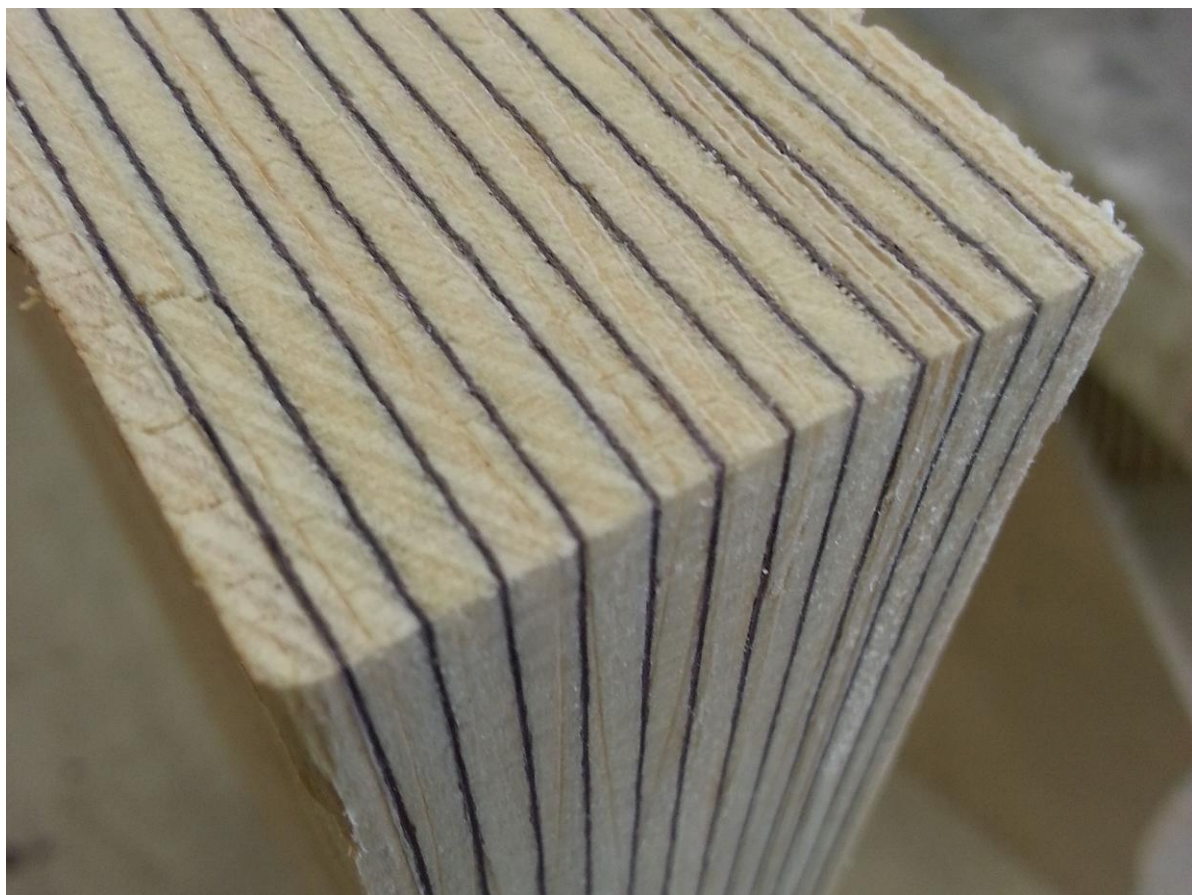


Kuva 13. Kahteen levyyn tarvittavat viilut aseteltuina puristimeen (Lappalainen 2014)

Puristuksen jälkeen levyt näyttivät nopean silmäilyn perusteella onnistuneilta. Levyt olivat suoria ja viilut näyttivät liimautuneen toisiinsa. Alun perin oletettiin, että valmiit levyt olisivat hieman paksumpia verrattuna teollisesti valmistettuihin hieman alhaisempien puristuspaineiden takia. Toivottua viilujen kasaanpuristumista oli kuitenkin tapahtunut, kaikki esikuivaussarjojen levyt olivat nopean tarkastelun perusteella alle 39 mm paksuudeltaan, referenssisarjan levyt hieman paksumpia. Kuvassa (kuva 15) on valmiin levyn reuna, joka on tasattu sahaamalla pois ylimääräiset liimakalvoliuskat (kuva 14).



Kuva 14. Puristetun levyn reunasta sahattu hukkapala (Lappalainen 2014)



Kuva 15. Valmiin levyn reuna (Lappalainen 2014)

6 KOEKAPPALEIDEN VALMISTUS JA TESTAUSMENETELMÄT

Kuopiossa Savonia-ammattikorkeakoulun puutekniikan laboratorion tiloissa valmistetut kertopuulevyt toimitettiin Lohjalle Metsä Woodin tehtaalle jatkotoimia varten. Lohjalla Metsä Woodin tuotekehitystiloissa levyistä valmistettiin koekappaleita kertolevyjen ominaisuuksien testaamiseksi. Levyistä sahattiin kunkin testin vaatimat määrät koekappaleita. Seuraavissa luvuissa on kuvattu tarkemmin koekappaleiden valmistuksen vaiheita ja varsinaista testausta.

6.1 Koekappaleiden valmistus

Kertopuulevyjä valmistettiin yhteensä 32 kappaletta, 8 kappaletta sarjaa kohden. Näistä levyistä otettiin talteen muutama kappale malliksi. Näin ollen lopullisiin testeihin päätyi 28 levyä, seitsemän jokaisesta sarjasta. Koekappaleet sahattiin kertopuulevyistä kuvion 1 mukaisen sahausohjeen mukaan. Koekappaleita tarvittiin taivutuslujuustestejä varten neljä kappaletta jokaisesta levystä. Kaksi näistä kappaleista sahattiin levyn reunasta ja kaksi keskeltä. Leikkauslujuustestejä varten sahattiin myös neljä kappaletta, joista kaksi otettiin levyn keskeltä ja kaksi levyn päädyistä. Kosteus ja keitto-kappaleet sahattiin niin ikään levyn päädyistä ja keskeltä. Sahaamalla rinnakkaisia koekappaleita sekä levyn reunoilta että päädyistä pyrittiin saamaan toivottua vaihtelua ja luotettavuutta tuloksiin. Taulukossa 4 on esitetty yhdestä levystä sahattujen koekappaleiden määrät jokaista testiä varten.

Taulukko 4. Levystä sahattujen koekappaleiden lukumäärä

määrä levyä kohden	leveys (mm)	pituus (mm)	testi
4	60	1200	taivutus
4	40	240	leikkaus
2	60	120	keitto
2	60	120	kosteus

taivutuslujuus (lape), reunasta							
taivutuslujuus (lape), keskeltä							
leikkauslujuus (lape)		leikkauslujuus (syrjä)		leikkauslujuus (lape)		leikkauslujuus (syrjä)	
kosteus, päädyistä	hukka		kosteus, keskeltä	keitto, keskeltä	hukka		keitto, päädyistä
taivutuslujuus (syrjä), keskeltä							
taivutuslujuus (syrjä), reunasta							

Kuvio 1. Koekappaleiden sahaus valmistetuista kertopuulevyistä (Lappalainen 2014)

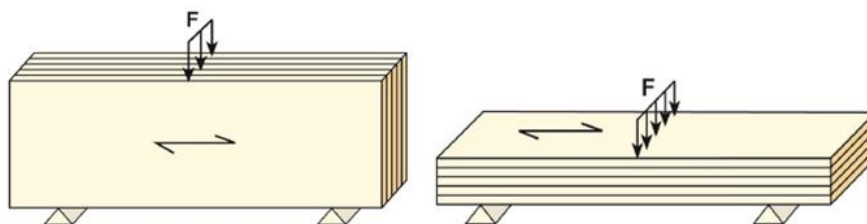
6.2 Koekappaleiden testaus

Varsinaisille koekappaleille toteutetut aineenkoestustestit ovat olleet vain osa tässä opinnäytetyössä tehtyä mittaustyötä. Varsinkin työn alkuvaiheessa viilujen kuivauksen ja kertopuulevyjen valmistuksen vaiheet ovat vaatineet paljon mittaustyötä. Näihin mittauksiin on sisällynyt lähinnä yksinkertaisia perinteisten mittausmenetelmien hyödyntämistä, kuten kappaleiden punnituksen ja paksuuden mittaamista. Helpohkoista menetelmistä on kuitenkin tehnyt työläitä erilaisten kappaleiden ja vaiheiden suuri määrä sekä näiden tulosten taltiointi. Yhteensä työssä on tehty erilaisille kappaleille punnituksia ja paksuusmittauksia yli 3000 kappaletta.

Valmistettuihin kertopuulevyihin käytetyillä tutkimusmenetelmillä on pyritty testaamaan materiaalin kannalta tärkeitä ominaisuuksia, joita ovat taivutuslujuus, leikkauslujuus, kosteusmääritykset sekä liimasaumalle tehty keittokoe. Testit on toteutettu standardien mukaisesti tai yleisten mittauskäytäntöjen mukaan. Koekappaleille suoritettut testit on tehty Metsä Woodin Lohjalla sijaitsevan kertopuutehtaan tutkimuslaboratorion tiloissa. Testeihin on käytetty perinteisten mitta- ja punnituslaitteiden lisäksi muun muassa Alwetron TCT 20 sekä Zwick Roell Z050 aineenkoestuskoneita. Kaikista koekappaleista on taltioitu ennen varsinaista koestusta massat ja dimensiot. Näin on saatu määritettyä eri sarjojen koekappaleille mm. tiheyden arvoja, sekä pystytty laskemaan kimmokertoimen arvot. Menetelmien toteutus ja periaatteet on esitelty alla olevissa luvuissa.

6.2.1 Taivutuslujuus

Taivutuslujuustestit suoritettiin Zwick Roell Z050 aineenkoestuskoneella. Testi perustuu standardiin SFS-EN 408. Kyseessä oli nelipistetaivutus, jossa testikappale tuetaan alhaaltapäin kahdesta pisteestä, ja sitä kuormitetaan ylhäältä päin kahdesta pisteestä. Testissä koekappaleelle haettiin sen kestämää maksimivoimaa, eli suurinta kuormaa ennen kappaleen hajoamista. Maksimivoiman ja kappaleen taipuman avulla koekappaleille on laskettu murtolujuuden arvot. Taivutuslujuus testattiin sekä syrjä että lapekappaleilla. Jokaisesta koelevystä sahattiin kaksi kappaletta syrjätaivutusta varten ja kaksi lapetaivutusta varten. Kuvassa 16 on esitetty miten voima kohdistuu sekä syrjä- että lapekoekappaleisiin testin aikana. Kuvassa 17 on käynnissä lappeellaan olevalle koekappaleelle tehtävä taivutuslujuuden testaus.



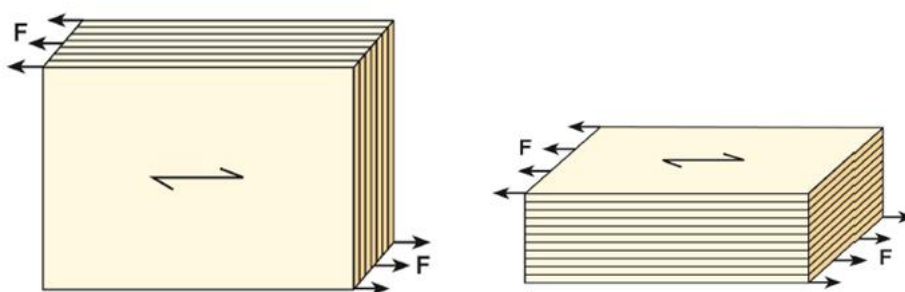
Kuva 16. Syrjä- ja lapetaivutus, syiden suuntaan (Metsawood.com 2014, 7.)



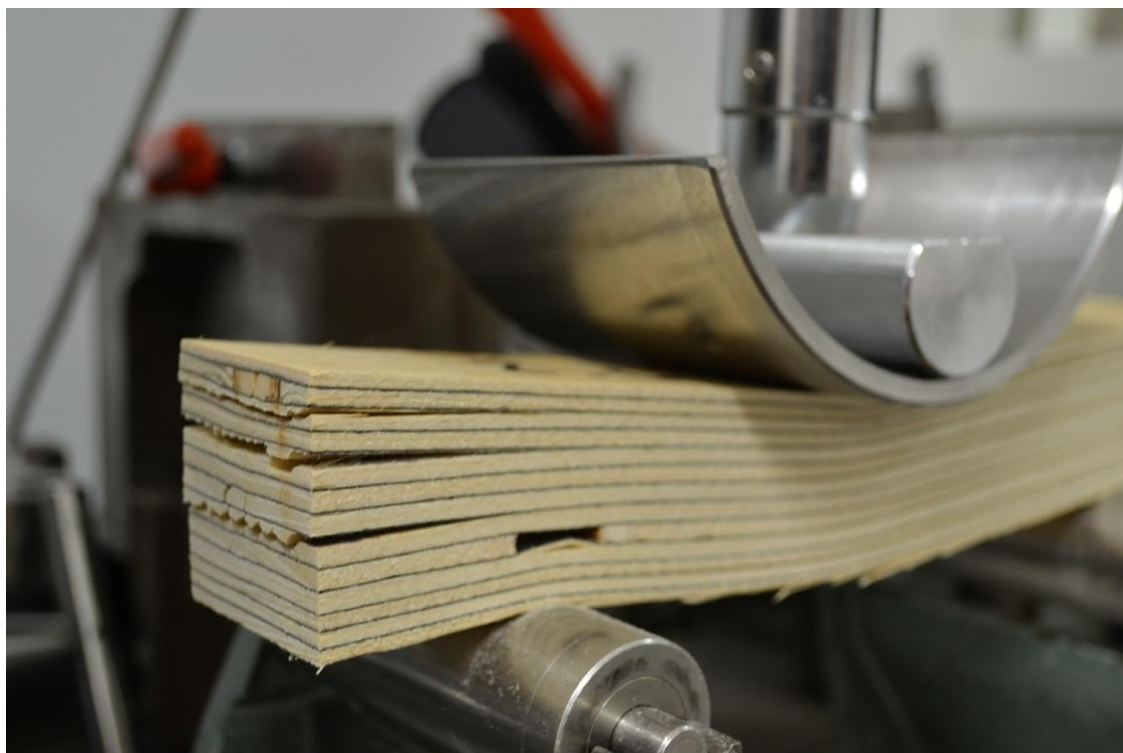
Kuva 17. Lapekappaleen taivutuslujuustesti käynnissä (Lappalainen 2014)

6.2.2 Leikkauslujuus

Leikkauslujuuden määrittämiseen käytettiin Metsä Woodin suosimaa testiä, jossa kappaleeseen kohdistetaan hyvin raju ja nopea taivutus pienellä jänneväliillä (kuva 19). Tällöin kappaleeseen kohdistuu kuvan 18 mukaisia leikkaavia voimia. Testaus toteutettiin Alwetron TCT 20 aineenkoestuskoneella. Kuvasta 19 voidaan havaita kuinka leikkaavat voimat ovat saaneet koekappaleen päässä viilut irtotamaan toisistaan. Leikkauslujuus testattiin sekä syrjä- että lapekappaleille.



Kuva 18. Syrjä- ja lapeleikkaus, syiden suuntaan (Metsawood.com 2014, 7.)



Kuva 19. Lapekappaleen leikkauslujuustesti (Lappalainen 2014)

6.2.3 Kosteusmääritys

Levyistä sahattuja kosteuden määrittämiseen varattuja kappaleita kuivattiin uunissa 103 asteessa yli 24 tuntia (kuva 20). Kappaleet punnittiin ennen uuniin laittoa ja sen jälkeen absoluuttisen kuivina, jolloin valmiiden kertolevyjen kosteuden määrittäminen oli mahdollista.



Kuva 20. Koekappaleet uunissa valmiina kuivausta varten (Lappalainen 2014)

6.2.4 Keittokoe

Keittokoetta varten varatuille kappaleille (kuva 21) tehtiin syklinen keittokoe, jossa koekappaleita pidettiin ensin neljä tuntia kiehuvaassa vedessä. Tämän jälkeen ne siirrettiin 20 tunnin ajaksi uuniin 60 °C lämpötilaan, jonka jälkeen kappaleet laitettiin uudelleen kiehuvaan veteen neljän tunnin ajaksi, jonka jälkeen kappaleita jäähdytettiin viileässä vedessä kahden tunnin ajan. Keittokokeen avulla testataan kappaleiden liimasauman kestoa ja viilujen mahdollista delaminoitumista. Lopuksi koekappaleet halkaistiin tikkuprosentin määrittystä varten.



Kuva 21. Keittokokeen koekappaleet (Lappalainen 2014)

7 VIILUJEN KUIVAUSVAIHEEN TULOKSET

Tähän lukuun on koottu viilujen esikuivausvaiheen mittauksiin liittyvät tulokset. Viiluista valmistettujen kertopuulevyjen lujuustestien tulokset on esitetty kappaleessa kahdeksan. Tulokset on käyty läpi sarjoittain ja niissä on keskitytty viiluissa tapahtuneisiin paksuuden- ja massan muutoksiin kuivausprosessin eri vaiheissa. Loppuun on tehty vertailu sarjojen keskinäisistä eroista.

7.1 Kosteuden poistuminen ja massan muutokset kuivausprosessin eri vaiheissa

Viilujen punnitusten suuren lukumäärän vuoksi on punnituksista saadut mittaustulokset taulukoitu kokonaisuudessaan tämän työn liitteeseen 1 (Esikuivauksen punnitustulokset). Taulukkoon 5 on koottu avaintiedot liittyen sarjojen 1, 2, 3 ja 4 massan muutoksiin sekä kosteuden poistumaan. Viilusarjojen yhteenlaskettuja massoja on merkitty taulukossa 5 arvoilla m1, m2 ja m3, seuraavalla tavalla:

- m1 = viilusarjan yhteenlaskettu massa ennen kuivausprosessia,
- m2 = viilusarjan massa esikuivauksen jälkeen ja
- m3 = viilusarjan massa loppukuivauksen jälkeen.

Kuten taulukosta 5 voidaan havaita, kaikkien viilusarjojen yhteenlasketut massat ovat alkutilanteessa hyvin lähellä toisiaan. Näin tuleekin olla, sillä eri sarjojen viilut ovat toistensa rinnakkaiskappaleita, eli ne on sahattu alkutilanteessa yhdestä isommasta viilumatosta. Poikkeuksena neljäs sarja, jonka massa on huomattavasti suurempi kuin kolmella ensimmäisellä. Viiluja sahattaessa neljännen sarjan viiluista tuli hieman suurempia, joten ero massoissa johtuu viilujen suuremmasta fyysisestä koosta, eikä niinkään puumateriaalin erilaisuudesta.

Taulukko 5. Viilusarjojen massat kuivauksen eri vaiheissa

viilusarja	m1 (kg)	m2 (kg)	m3 (kg)	poistuneen veden määrä (kg)	
				esikuivauksessa	loppukuivauksessa
esikuivaus 1	195,1	191,1	84,6	4,0	106,5
esikuivaus 2	195,2	189,8	86,3	5,4	103,5
esikuivaus 3	193,2	187,1	87,0	6,1	100,1
4 (ref.)	212,4	-	98,2	-	114,2

Kolmen esikuivaussarjan massan muutoksissa ei ole merkittäviä eroja toisiinsa nähden. Ensimmäisen sarjan viiluista on poistunut kokonaisuudessaan kosteutta esikuivauksen aikana 4,0 kg, ja loppukuivauksen aikana 106,5 kg. Näin ollen ensimmäisen sarjan viilunippu on keventynyt kuivauksen aikana yhteensä 110,5 kg, josta esikuivauksessa poistuneen kosteuden osuus on vain 3,6 %. Toisen sarjan viiluista on poistunut kosteutta esikuivauksen aikana 5,4 kg, kun kokonaisuudessaan poistuma on ollut loppukuivauksen jälkeen 108,9 kg, esikuivauksen osuuden ollessa 5,0 %. Kolmannessa sarjassa kosteutta on poistunut esikuivausvaiheessa 6,1 kg, ja kokonaisuudessaan 106,2 kg. Näin ollen esikuivauksessa on poistunut 5,8 % kuivatusta vedestä. Referenssisarjan viiluista on poistunut loppukuivauksen aikana 114,2 kg vettä.

Kaikissa kolmessa esikuivatussa sarjassa merkittävä osa vedestä on poistunut vasta loppukuivausvaiheessa. Kolmen ensimmäisen sarjan väliset erot ovat hyvin pieniä verrattaessa esikuivauksessa poistuneen veden määrää kokonaispoistumaan kuivauksen loppuvaiheessa.

Esikuivauksen aikana viilunipun viiluista keskimäärin noin 73 %:n massa väheni ja 27 %:n massa kasvoi (taulukko 6). Osa viiluista siis luovutti kosteutta puristuskuivauksen aikana, kun taas osa vastaanotti sitä. Kosteutta luovuttaneet viilut kevenivät keskimäärin 66 g, kun kosteutta vastaanottaneet viilut kasvattivat massaansa noin 19 g. Kaikki kolme esikuivatua sarjaa käyttäytyivät hyvin pitkälti samalla tavalla.

Taulukko 6. Kosteuden poistuminen viiluista

tarkasteltavia viiluja (kpl)	Sarja 1	Sarja 2	Sarja 3	KA
	120	120	120	360
viiluja, joiden massa kasvoi	33	32	32	32,3
	27,5 %	26,7 %	26,7 %	26,9 %
viilun massa kasvoi keskimäärin (g)	17,2	17,6	21,1	18,6
viiluja, joiden massa väheni	87	88	88	87,7
	72,5 %	73,3 %	73,3 %	73,1 %
viilun massa väheni keskimäärin (g)	-52,7	-67,9	-77,3	-66,0

7.2 Viilujen paksuuden muutokset

Valikoitujen viilujen paksuuden muutokset kuivausprosessin eri vaiheissa on esitetty sarjoittain taulukoissa 7, 8, 9 ja 10. Edellä mainituissa taulukoissa arvot K1, K2, ja K3 edustavat viilun paksuuden keskiarvoa kuivausprosessin eri vaiheissa seuraavalla tavalla:

K1 = viilun paksuus alkutilanteessa ennen kuivausta,

K2 = viilun paksuus esikuivauksen jälkeen,

K3 = viilun paksuus loppukuivauksen jälkeen.

Ensimmäisen esikuivaussarjan kaikki mitatut viilut ovat ohentuneet esikuivauksen aikana (taulukko 11), samoin on käynyt myös loppukuivausvaiheessa. Esikuivausvaiheessa viilut ovat ohentuneet keskimäärin 0,09 mm, ja loppukuivauksen aikana 0,15 mm, jolloin ohenemisesta on tapahtunut 38 % esikuivausvaiheessa. Ensimmäisen sarjan viilut olivat alkupaksuudeltaan keskimäärin 3,37 mm paksuja.

Taulukko 7. Ensimmäisen esikuivaussarjan viilujen paksuudet

esikuivaussarja 1 (puristuksen syklistyys: vapautus 5 min välein)						
viilu nro	m1 (g)	m2 (g)	m3 (g)	K1 (mm)	K2 (mm)	K3 (mm)
1.1	1384	1386	826	3,47	3,46	3,21
1.11	1450	1441	730	3,48	3,39	3,17
1.21	1828	1735	654	3,29	3,28	3,26
1.31	1380	1350	643	3,36	3,31	3,20
1.41	1932	1888	794	3,38	3,26	3,01
1.51	1042	1056	713	3,32	3,32	3,10
1.61	1642	1654	796	3,40	3,26	3,34
1.71	1724	1606	563	3,22	3,11	2,96
1.81	1788	1669	665	3,59	3,33	3,17
1.91	1422	1459	705	3,42	3,38	3,26
1.101	1918	1868	712	3,44	3,26	3,00
1.111	1724	1702	617	3,11	3,04	2,96
KA	1603	1568	702	3,37	3,28	3,14
KH	268	239	78	0,13	0,12	0,13

Toisen esikuivaussarjan mitatut viilut ovat niin ikään ohentuneet molemmissa kuivausvaiheissa (taulukko 11). Esikuivauksen aikana ohenemista on tapahtunut 0,09 mm ja loppukuivauksen aikana 0,25 mm, jolloin ohenemisesta on tapahtunut 27 % esikuivattaessa. Toisen sarjan viilut olivat alkupaksuudeltaan keskimäärin 3,41 mm paksuja.

Taulukko 8. Toisen esikuivaussarjan viilujen paksuudet

esikuivaussarja 2 (puristuksen syklistyys: ei syklistyettä)						
viilu nro	m1 (g)	m2 (g)	m3 (g)	K1 (mm)	K2 (mm)	K3 (mm)
2.1	1376	1396	836	3,43	3,33	3,23
2.11	1524	1516	792	3,47	3,29	3,14
2.21	1926	1811	677	3,22	3,29	2,90
2.31	1484	1457	696	3,40	3,30	3,14
2.41	1966	1915	807	3,48	3,34	3,04
2.51	1146	1150	765	3,39	3,41	3,20
2.61	1482	1509	791	3,72	3,35	3,12
2.71	1788	1637	603	3,32	3,28	2,95
2.81	1820	1675	678	3,55	3,44	3,08
2.91	1172	1255	648	3,39	3,39	3,16
2.101	1920	1846	707	3,35	3,38	2,99
2.111	1712	1652	584	3,23	3,07	2,95
KA	1610	1568	715	3,41	3,32	3,08
KH	288	234	82	0,14	0,10	0,11

Kolmannen sarjan mitatut viilut ovat kahden ensimmäisen sarjan tapaan ohentuneet molemmissa kuivausvaiheissa (taulukko 11). Esikuivauksen aikana ohenemista on tapahtunut keskimäärin 0,11 mm ja loppukuivauksen aikana 0,23 mm. Kolmannen sarjan viilut olivat alkupaksuudeltaan keskimäärin 3,41 mm paksuja.

Taulukko 9. Kolmannen esikuivaussarjan viilujen paksuudet

esikuivaussarja 3 (puristuksen sykisyys: vapautus 2 min välein)						
viilu nro	m1 (g)	m2 (g)	m3 (g)	K1	K2	K3
3.1	1330	1391	818	3,51	3,39	3,22
3.11	1490	1471	786	3,49	3,38	3,10
3.21	1940	1807	689	3,31	3,19	2,95
3.31	1302	1274	674	3,43	3,31	3,07
3.41	1972	1926	815	3,33	3,18	2,94
3.51	1132	1135	758	3,44	3,26	3,13
3.61	1174	1203	765	3,42	3,29	3,12
3.71	1960	1723	637	3,46	3,32	2,95
3.81	1788	1616	683	3,48	3,39	3,04
3.91	1066	1106	650	3,38	3,29	3,11
3.101	1970	1892	729	3,34	3,36	3,16
3.111	1736	1652	609	3,38	3,24	3,03
KA	1572	1516	718	3,41	3,30	3,07
KH	360	294	71	0,07	0,07	0,09

Neljännän sarjan viilut kuuluvat referenssisarjaan, jota ei esikuivattu. Esikuivausvaiheen puuttuminen näkyy viilujen lopullisessa paksuudessa, sillä referenssisarjan viilut ovat keskimäärin kaikkein paksuimpia loppukuivauksen jälkeen. Toisaalta on myös hyvä huomata, että referenssisarjan viilut olivat myös alkutilanteessa hieman paksumpia verrattuna muiden sarjojen viiluihin. Tästä huolimatta esikuivaussarjojen viilut ovat kokonaisuudessaan ohentuneet referenssisarjaa enemmän (taulukko 11). Valmiiden referenssisarjan koelevyjen pitäisi olla muita sarjoja paksumpia, koska ero paksuudessa kertaantuu kerrosrakenteessa.

Taulukko 10. Referenssisarjan viilujen paksuudet

sarja 4 (referenssisarja, ei esikuivausta)						
viilu nro	m1 (g)	m2 (g)	m3 (g)	K1	K2	K3
4.1	1242	-	889	3,39	-	3,25
4.11	1478	-	890	3,62	-	3,32
4.21	2108	-	755	3,48	-	3,05
4.31	1556	-	842	3,49	-	3,23
4.41	2180	-	917	3,49	-	3,11
4.51	1356	-	898	3,45	-	3,11
4.61	1362	-	863	3,53	-	3,28
4.71	2278	-	768	3,57	-	3,45
4.81	2088	-	757	3,52	-	3,13
4.91	1052	-	694	3,45	-	3,23
4.101	2200	-	826	3,30	-	3,19
4.111	1890	-	673	3,38	-	3,31
KA	1733	-	814	3,47	-	3,22
KH	436	-	83	0,09	-	0,11

Taulukko 11. Viilujen paksuuden vertailu kuivausprosessin eri vaiheissa sarjojen välillä

sarja		K1 (mm)	K2 (mm)	K3 (mm)	viilun paksuuden muutos (mm)			ohuempia verrattuna referenssisarjaan (mm)	
					esikuivauksessa	loppukuivauksessa	kokonaisuudessaan		
1	KA	3,37	3,28	3,14	0,09	0,15	0,24	0,09	2,7 %
	KH	0,13	0,12	0,13					
2	KA	3,41	3,32	3,08	0,09	0,25	0,34	0,15	4,6 %
	KH	0,14	0,10	0,11					
3	KA	3,41	3,30	3,07	0,11	0,23	0,35	0,15	4,8 %
	KH	0,07	0,07	0,09					
4	KA	3,47	-	3,22	-	0,25	0,25	-	-
	KH	0,09	-	0,11					

8 KOEKAPPALEILLE TEHTYJEN TESTIEN TULOKSET

Tähän lukuun on koottu kertopuulevyistä valmistetuille koekappaleille tehtyjen lujuustestien tulokset. Puuviiilujen esikuivausvaiheeseen liittyvät tulokset on esitetty kappaleessa seitsemän.

8.1 Taivutuslujuustesti

Koekappaleiden murtolujuuden arvot eivät poikkea sarjakohtaisesti merkittävästi toisistaan. Näyttää siltä, ettei kolmen ensimmäisen sarjan esikuivaamisella ole suurta vaikutusta lopputuotteen murtolujuuteen. Syrjätuloksissa vahvimman murtolujuuden omaa kolmas sarja ($61,1 \text{ N/mm}^2$) (taulukko 12). Referenssisarjan kappaleet ovat kestäneet toiseksi huonoiten ($60,1 \text{ N/mm}^2$).

Lapekappaleiden murtolujuus on vastaavia syrjäkappaleita alhaisempi. Lapekappaleissa on lisäksi hieman enemmän vaihtelua eri sarjojen välillä. Korkeimman murtolujuuden lappeen suunnassa tapahtuvassa kuormituksessa omaavat sarjan 2 kappaleet ($55,9 \text{ N/mm}^2$) ja heikoimman tuloksen sarjan 1 kappaleet ($50,0 \text{ N/mm}^2$). Referenssisarjan lapsuuntaisen murtolujuuden arvo sijoittuu esikuivaussarjojen välimaastoon ($52,3 \text{ N/mm}^2$).

Taulukko 12. Taivutuslujuuskappaleiden tulokset, sarjojen keskiarvot

murtolujuus (N/mm^2)				
SYRJÄ	sarja 1	sarja 2	sarja 3	sarja 4
KA	59,6	60,5	61,1	60,0
KH	12,3	11,5	11,7	9,7
LAPE	sarja 1	sarja 2	sarja 3	sarja 4
KA	50,0	55,9	52,6	52,3
KH	12,4	10,3	11,3	10,7

Kun tarkastellaan kappaleiden nimellistä murtolujuutta 39 mm paksuille kappaleille (taulukko 13), ovat referenssisarjan kappaleet hieman esikuivaussarjojen kappaleita kestävämpiä. Lapesuunnassa ero sarjojen välillä on suurempi verrattuna syrjäsuuntaiseen kuormitukseen.

Taulukko 13. Koekappaleiden nimellismurtolujuus 39 mm kertopuulle

nimellismurtolujuus (N/mm^2): kertopuu 39 mm				
SYRJÄ	sarja 1	sarja 2	sarja 3	sarja 4
KA	58,8	61,0	61,8	61,9
LAPE	sarja 1	sarja 2	sarja 3	sarja 4
KA	50,2	55,3	52,2	56,9

Kaikkien esikuivaussarjojen materiaalin kimmokerroin on referenssisarjaa korkeampi, huolimatta siitä onko kyseessä syrjä- tai lapetaivutus (taulukko 14). Nimellisesti laskettuna kaikki esikuivaussarjat päihittävät referenssisarjan syrjätuloksissa, kun taas lapetuloksissa referenssisarja vie voiton (taulukko 15).

Taulukko 14. Taivutuslujuuskappaleiden laskennallinen kimmokerroin

kimmokerroin (N/m ²)				
SYRJÄ	sarja 1	sarja 2	sarja 3	sarja 4
KA	13898	13746	13942	13107
KH	1228	906	942	643
LAPE	sarja 1	sarja 2	sarja 3	sarja 4
KA	12473	12695	12399	11407
KH	1144	873	1400	1098

Taulukko 15. Koekappaleiden nimelliskimmokerroin 39 mm kertopuulle

nimelliskimmokerroin (N/m ²): kertopuu 39 mm				
SYRJÄ	sarja 1	sarja 2	sarja 3	sarja 4
KA	13727	13849	14090	13512
LAPE	sarja 1	sarja 2	sarja 3	sarja 4
KA	12528	12494	12284	12951

8.2 Leikkauslujuustesti

Kaikkien kolmen esikuivaussarjan leikkauslujuuskappaleet ovat keskimäärin vastaavia referenssisarjan kappaleita kestävämpiä sekä syrjä-, että lapesuunnassa (taulukko16). Syrjätestissä sarjalla 2 on korkein leikkauslujuuden arvo (8,7 N/mm²), kun referenssisarjalla se on matalin (8,0 N/mm²). Odotetusti kappaleet omaavat huomattavasti suuremman leikkauslujuuden syrjällään testattuina, verrattuna lapetestaukseen. Sarja 2 on kestävin lapetestissä arvolla 4,2 N/mm². Referenssisarjan leikkauslujuuden keskiarvo 3,9 N/mm² on lapetestin alhaisin.

Taulukko 16. Leikkauslujuuskappaleiden tulokset, sarjojen keskiarvot

leikkauslujuus (N/mm ²)				
SYRJÄ	sarja 1	sarja 2	sarja 3	sarja 4
KA	8,3	8,7	8,3	8,0
KH	1,1	1,0	1,0	1,0
LAPE	sarja 1	sarja 2	sarja 3	sarja 4
KA	4,0	4,2	4,0	3,9
KH	0,6	0,7	0,4	0,5

Tarkasteltaessa syrjätaivutuksen kappaleita nimellisesti ovat sarjan 2 koekappaleet kaikkein kestävimpiä, ja sarjan 1 kappaleet heikoimpia (8,2 N/mm²) (taulukko 17). Referenssisarjan mittaustulos (8,3 N/mm²) on hyvin lähellä ensimmäistä sarjaa. Lapetaivutuksessa sarja 2 omaa korkeimman leikkauslujuuden arvon (4,2 N/mm²) nimellisesti, kun referenssi sarja sijoittuu huonoimman ja parhaan välimaastoon.

Taulukko 17. Koekappaleiden nimellisleikkauslujuus 39 mm kertopuulle

nimellisleikkauslujuus (N/mm ²): kertopuu 39 mm				
SYRJÄ	sarja 1	sarja 2	sarja 3	sarja 4
KA	8,2	8,7	8,4	8,3
LAPE	sarja 1	sarja 2	sarja 3	sarja 4
KA	4,0	4,2	4,0	4,1

8.3 Kosteusmittaus

Koelevyistä sahattiin kappaleita kosteuden määrittystä varten sekä levyn keskeltä että reunasta. Keskeltä sahatut kappaleet ovat hieman kuivempia (kosteus 4,3–4,8 %) reunakappaleisiin verrattuna (5,7–6,3 %). Kosteus lienee kuitenkin ollut levyissä melko tasainen välittömästi levyn valmistumisen jälkeen. Valmiita koelevyjä säilytettiin viikkojen ajan laboratoriossa, ennen koekappaleiden sahaamista. Korkeampi kosteus levyjen reunassa johtuu puun luonteesta hakeutua tasapainokosteuteen ympäröivän tilan kanssa. Rakenteensa takia kertopuulevyt imevät itseensä kosteutta eniten juuri reunojen kautta, jolloin kosteus ei ole vielä ehtinyt siirtyä levyn sisälle. Sarjojen väliset kosteusvaihtelut ovat verrattain pieniä.

Taulukko 18. Koekappaleiden kosteustulokset, sarjojen keskiarvot

kosteus (%)				
keskeltä	sarja 1	sarja 2	sarja 3	sarja 4
KA	4,8	4,6	4,4	4,3
KH	0,2	0,2	0,3	0,1
reunasta	sarja 1	sarja 2	sarja 3	sarja 4
KA	6,0	5,7	6,1	6,3
KH	0,5	0,2	0,1	0,3

8.4 Paksuusmittaus ja koekappaleiden tiheys

Koelevyjen tavoitepaksuus oli 39 mm. Mitattua koelevyjen paksuutta edustaa taulukossa 19 esitetyt lapepaksuuden arvot. Esikuivaussarjojen osalta päästiin hyvin lähelle tavoiteltua lapepaksuutta, poikkeama on vain 0,1–0,2 mm. Referenssisarjan koekappaleet ovat keskiarvoltaan huomattavasti paksumpia (40,7 mm). Kuten aiemmin kappaleessa 7.2 todettiin, on esikuivauksella ollut vaikutusta, verrattaessa esikuivattuja viiluja esikuivaamattomiin. Esikuivatut viilut olivat sarjasta riippuen 0,09–0,15 mm ohuempia verrattuna referenssisarjan viiluihin. Luonnollisesti vaikutus näkyy edelleen myös valmiissa koelevyissä. Koelevyt valmistettiin 13 päällekkäin ladotusta viilusta, joten teoriassa referenssisarjan levyjen tulisi olla keskimäärin noin 1,2–2,0 mm paksumpia esikuivaussarjasta riippuen (taulukko 11). Näin näyttää olevan myös käytännössä, sillä referenssisarjan levyt ovat mittauksien perusteella noin 1,6–1,9 mm paksumpia.

Syrjäpaksuudella tarkoitetaan leikkauslujuuskappaleiden leveyttä sahausvaiheessa, tämän tulisi olla 40 mm sahausohjeen mukaisesti kaikissa sarjoissa, mutta sarjojen välillä on silti heittoa. Koestusvaiheessa syrjäpaksuus on syrjälleen käännetyn kappaleen paksuus.

Taulukko 19. Koekappaleiden paksuusmittauksien tulokset, sarjojen keskiarvot

paksuus (mm)				
SYRJÄ	sarja 1	sarja 2	sarja 3	sarja 4
KA	38,5	39,3	39,4	40,2
KH	2,1	1,7	1,4	1,4
LAPE	sarja 1	sarja 2	sarja 3	sarja 4
KA	39,1	38,8	38,9	40,7
KH	1,9	1,6	1,8	0,8

Esikuivauksen takia sarjojen 1, 2 ja 3 koelevyt ovat lähes muutaman millimetrin ohuempia verrattuna referenssisarjaan. Tästä johtuen myös referenssisarjan koekappaleiden tiheys on huomattavasti alhaisempi (taulukko 20). Kaikkien sarjojen nimellistiheys 39 mm kertopuulle on kuitenkin lähes sama, näin kuuluukin olla sillä sarjoissa käytetyt viilut ovat toistensa rinnakkaiskappaleita (taulukko 21). Toisin sanoen koelevyt on valmistettu samasta lähdemateriaalista, joka näkyy samana nimellistiheytenä sarjojen välillä.

Taulukko 20. Koekappaleiden tiheystulokset, sarjojen keskiarvot

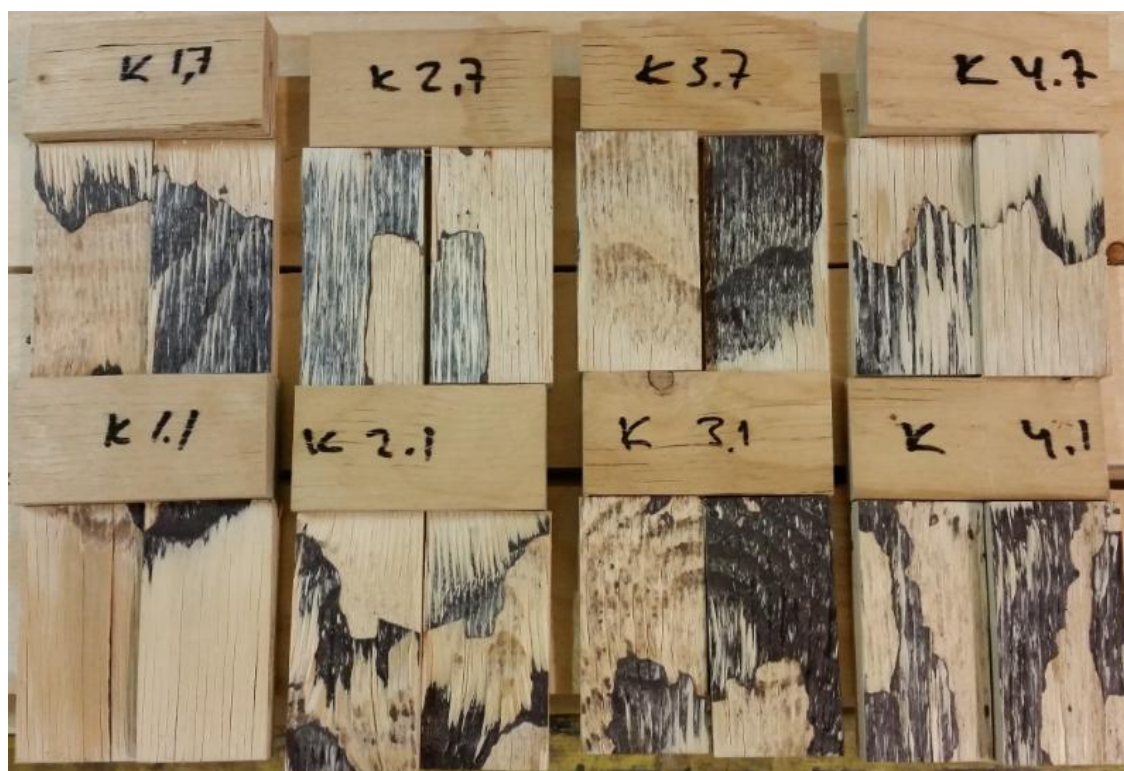
tiheys (kg/m ³)				
SYRJÄ	sarja 1	sarja 2	sarja 3	sarja 4
KA	555	540	542	527
KH	21	16	24	16
LAPE	sarja 1	sarja 2	sarja 3	sarja 4
KA	548	553	550	522
KH	24	22	35	24

Taulukko 21. Koekappaleiden nimellistiheys 39 mm kertopuulle

nimellistiheys (kg/m ³): 39 mm kertopuu				
SYRJÄ	sarja 1	sarja 2	sarja 3	sarja 4
KA	548	544	548	543
LAPE	sarja 1	sarja 2	sarja 3	sarja 4
KA	549	550	549	544

8.5 Keittokoe

Keittokokeen avulla selvitettiin kuinka hyvin levyjen liimaus oli onnistunut kalvoliimalla. Liimauksen onnistuminen oli erittäin tärkeää, sillä ilman kunnollista liimasaumaa ei koesarjojen vertailu olisi ollut mahdollista. Lopulta liimasauma osoittautui kuitenkin hyvin kestäväksi. Kappaleissa ei ollut havaittavissa keittokokeen jälkeen silminnähtävää hajoamista tai viilujen delaminoitumista. Saumasta halkaistujen keittokoe-kappaleiden tikkuprosentti oli myös varsin hyvä (kuva 22), joten liimausta voidaan pitää onnistuneena.



Kuva 22. Halkaistut keittokoe-kappaleet (Veikkola 2014)

8.6 Tulosten luotettavuus

Monet opinnäytetyössä käytössä olleet mittaustavat ovat hyvin yksiselitteisiä, kuten esimerkiksi kappaleiden punnitus, eikä niissä pitäisi esiintyä suuria lopputuloksiin vaikuttavia virheitä. Paksuuksia mitattaessa täysin samaa mittaustulosta on hankala saada kahta kertaa peräkkäin. Heitot ovat kuitenkin olleet melko pieniä, sillä kyse on millimetrin sadasosista. Lisäksi paksuuden arvoja on mitattu monista eri mittauspisteistä, joiden keskiarvo on ilmoitettu tuloksissa. Paksuutta mitattaessa on pyritty käyttämään aina samaa mittajaa, jottei tuloksiin tule mittajasta johtuvaa vaihtelua. Käytetyistä koelevyistä pyrittiin saamaan kappaleita testejä varten eri puolilta levyä kattavamman tuloksen saamiseksi.

Opinnäytetyötä varten valitut tuoreet havuviilut hankittiin Lohjan kertopuutehtaalta, josta ne kuljettiin Kuopioon. Viilut pyrittiin pakkaamaan huolellisesti muoviin kuljetuksen ajaksi, niiden kuivumisen ehkäisemiseksi. Esikuivaustestit aloitettiin jo seuraavana päivänä Kuopiossa, jotta viilut olisivat mahdollisimman tuoreita.

Lopullisia lujuustestejä varten oli lopulta seitsemän levyä jokaista viilusarjaa kohden. Valmistamalla suurempi määrä levyjä, olisi tulosten sattumanvaraisuutta saatu karsittua. Samoin mahdollisten rinkaisten täysin identtisten viilusarjojen käytöllä olisi voitu testata, kuinka hyvin tuloksia voidaan toistaa. Tämä olisi toisaalta tarkoittanut huomattavaa lisää työmäärässä ja ajankäytössä.

Esikuivaussarjoihin haettiin vaihtelua puristuksen syklisyydellä. Syklisyyden vaikutus jäi kuitenkin lopulta hämärän peittoon, sillä sarjojen välillä ei ollut juurikaan eroja. Luultavasti sillä ei ollut juurikaan vaikutusta lopputulosten kannalta. Olisi ehkä ollut kannattavampaa käsitellä kaikkia kolmea esikuivaussarjaa samoin, jolloin olisi pystytty tarkastelemaan kuinka hyvin päästään samoihin tuloksiin kolmen identtisen sarjan kesken. Saadut tulokset olivat lähellä toisiaan, mutta on hankala sanoa mikä vaikutus puristuksen syklisyydellä oli.

9 JOHTOPÄÄTÖKSET, ARVIOINTI JA POHDINTA

Opinnäytetyön tavoitteena oli selvittää niitä vaikutuksia ja hyötyjä, joita kertopuuvilujen esikuivaaminen mahdollisesti tuo osaltaan vilujen kuivausprosessiin. Esikuivauksen vaikutuksia tarkasteltaessa näyttäisi siltä, ettei esikuivaus ole heikentänyt kappaleiden lujuusominaisuuksia. Lujuusominaisuuksia testattaessa erot sarjojen välillä olivat verrattain pieniä. Lähes testistä riippumatta esikuivaussarjat olivat ominaisuuksiltaan hieman parempia esikuivaamattomaan referenssisarjaan verrattaessa. Yleensä referenssisarjan tulokset sijoittuivat kolmen esikuivatun sarjan välimaastoon. Työssä ei ole erikseen vertailtu itse valmistettuja levyjä teollisesti valmistettuihin. Levyjen valmistus onnistui positiivisesti. Itse tehdyistä levyistä saatiin kestäviä, jopa teollisesti valmistettuja levyjä kestävämpiä. Vertailuja levyjen kesken ei voida kuitenkaan suoraan tehdä mm. poikkeavan liima-aineen takia.

Esikuivauksen pääasiallinen tavoite on kuivata viluja niiden ollessa kosteimmillaan, jotta loppukuivaukseen kulunutta aikaa voidaan lyhentää. Esikuivaussarjoista saatiin poistettua vettä kylmäpuristuksen avulla, puristamalla kerrallaan 120 viilun nippuja sarjoittain. Esikuivauksessa poistetun veden määrä oli kuitenkin melko vähäinen verrattaessa määrää koko kuivausprosessin (esikuivaus + loppukuivaus) aikana poistuneeseen veden määrään. Sarjan 1 kohdalla esikuivausvaiheessa viluista poistui noin 4 % kaikesta kuivattavasta kosteudesta. Lähes samalla tavalla sarjan 2 kohdalla esikuivauksen osuus oli noin 5 % ja sarjan 3 kohdalla noin 6 %. Näin ollen esikuivauksella saatiin oikeansuuntaisia tuloksia, mutta ne eivät olleet riittäviä. Ongelmaksi osoittautui käytetyn puristuspaineen alhaisuus. Kaikkia kolmea esikuivaussarjaa puristettaessa käytettiin 12 kg/cm^2 pintapainetta. Ennalta tiedettiin jo, ettei olisi hyödyllistä käyttää tätä alhaisempaa pintapainetta. Korkeampien puristuspainojen käyttäminen ei kuitenkaan ollut mahdollista sen hetkisen esikuivauslaitteiston kokoonpanosta johtuen. Korkeammalla pintapaineella esikuivauksen vaikutusta olisi mitä ilmeisimmin saatu tehostettua. Jos kolmelle esikuivaussarjalle olisi ollut mahdollista saada huomattavasti toisistaan eroavat puristuspainet, olisi tuloksiin saatu varmasti toivottavaa vaihtelua referenssisarjaan verrattuna. Valitsemalla sarjoille esimerkiksi puristuspainet 12 kg/cm^2 , 16 kg/cm^2 ja 20 kg/cm^2 , olisi poistuneen veden määrää luultavasti saatu kasvatettua. Samalla olisi voitu myös tarkkailla mahdollisia liian rajun puristuksen aiheuttamia haittoja tuotteen lujuusominaisuuksiin. Oleellista lienee sopivan puristuskaavan löytäminen, joka on samaan aikaan mahdollisen tehokas poistettavan kosteuden ja siihen kuluneen ajan suhteen, mutta kuitenkin riittävän kevyt jotteivät puristettavat vilut vahingoitu tai puristu liikaa kasaan.

Esikuivatut sarjat erosivat toisistaan ainoastaan muutoksilla puristuksen syklistä. Syklisyydellä ei kuitenkaan näyttänyt olevan juurikaan vaikutusta lopputuloksiin, ainakin sitä on hyvin vaikea havaita saatujen tuloksien pohjalta. Tasaisesti puristettu sarja 2 sijoittui poistuneen veden määrässä kahden syklisesti puristetun sarjan väliin. Erot sarjojen välillä olivat kuitenkin hyvin pieniä. Näin ollen puristuksen syklisyyden vaikutukset jäivät pitkälti hämärän peittoon. Puristuksen syklisyyden muutoksilla ei tässä tapauksessa näyttäisi olleen juurikaan vaikutusta.

Esikuivauksen tavoitteena on kuivata kaikkein kosteimpia viiluja, jotka hyötyvät esikuivaamisesta eniten. Opinnäytetyön kuivauskokeita varten oli tarkoitus valita suoraan tuotantolinjalta viiluja kosteimmasta päästä. Tulosten perusteella testattujen viilujen sekaan näyttää kuitenkin päässeen myös kuivempia viiluja, jotka ovat imeneet itseensä kosteutta esikuivauksen aikana. Vaikka tämä ominaisuus johtaakin viilunipun kosteuserojen tasaantumiseen, ja sitä voitaisiin jossain määrin pitää hyödyllisenä ominaisuutena, ei se tässä tapauksessa ollut sellainen.

Viilujen puristaminen aiheutti odotetusti viilujen kasaan painumista, jonka takia esikuivaussarjojen viilut olivat kuivausprosessin päätyttyä keskimäärin ohuempia verrattuna referenssisarjan viiluihin. Vaikutus näkyi myös lopullisissa levyissä, sillä kolmen esikuivaussarjan levyt olivat noin 1,6–1,9 mm ohuempia verrattaessa kuivausvaiheessa puristamattoman referenssisarjan levyihin. Kolmen esikuivaussarjan osalta päästiin lähelle tavoitteena ollutta 39 mm loppupaksuutta, referenssisarjan levyjen jäädessä noin 1,5 mm liian paksuiksi. Levyjen loppupaksuuteen vaikuttaa toisaalta myös poikkeuksellisesti käytetty kalvoliima, josta johtuen viilujen välinen liimasauma on normaalia paksumpi. Teollista nestemäistä liimaa käyttämällä esikuivaussarjojen levyistä olisi luultavasti tullut hieman liian ohuita, ja referenssisarjankin levyistä ohuempia verrattuna nyt valmistettuihin.

Esikuivaus aiheena vaikutti itselleni mielenkiintoiselta ja puutekniikan koulutusalaani hyvin soveltuvalla. Teoriassa menetelmän avulla voidaan tehostaa kuivausprosessin toimintaa ja saavuttaa samalla vuositasolla mittavia rahallisia säästöjä. Käytännönläheisen tutkimisen ja tulosten perusteella esikuivaus menetelmänä vaikuttaa lupaavalta myös käytännössä. Saadut tulokset ovat lupaavia ja oikean suuntaisia, mutta ne eivät silti ole riittäviä. Jatkotutkimuksen teko lienee tarpeellista ja kannattavaa lupaavan menetelmän suhteen. Suurempien puristuspaineiden ja teollisesti kannattavan liima-aineen käyttö tulevissa testeissä on tarpeen.

LÄHTEET

KORWENSUU 2014. Esikuivaus vanerin ja kertopuun valmistuksessa. Yrityksen sisäinen sähköinen Power Point aineisto. [Viitattu 2014-10-28]

KORWENSUU 2014. Layout. Yrityksen sisäinen sähköinen PDF aineisto. [Viitattu 2014-10-28]

Metsagroup.fi, Maailmanluokan toimintaa [verkkoaineisto]. [Viitattu 2014-10-10]. Saatavissa: <http://www.metsagroup.fi/> Polku: metsagroup.fi. Metsä Group.

Metsawood.com, Luja ja mittatarkka kantavien rakenteiden Kertopuu [verkkoaineisto]. [Viitattu 2014-10-10]. Saatavissa: <http://www.metsawood.com/> Polku: metsawood.fi. Tuotteet. Kerto.

Metsawood.com, VTT Sertifikaatti VTT-C-184-03 [verkkoaineisto] . [Viitattu 2014-10-15]. Saatavissa: http://www.metsawood.com/global/Tools/MaterialArchive/MaterialArchive/Kerto-S_Q_VTT_sertifikaatti_2012.pdf

METSÄWOOD 2014. Metsä Wood Kertotuotantoesitys. Yrityksen sisäinen sähköinen Power Point aineisto. [Viitattu 2014-09-25]

Puuinfo.fi, Hyvä tietää puusta – esite [verkkoaineisto]. [Viitattu 2014-10-2]. Saatavissa: <http://www.puuinfo.fi/sites/default/files/content/tee-se-itse/ohjeita-omatoimirakentajille/hyva-tietaa-puusta/hyva-tietaa-puusta-web.pdf>

VEIKKOLA, Marika 2014-10-20. Halkaistut keittokoekappaleet [digikuva]. Sijainti: Tekijän sähköiset kokoelmat.

LIITE 1: ESIKUIVAUKSEN PUNNITUSTULOKSET

Taulukko 22: Punnitustulokset, viilut 1-40

SARJA 1				SARJA 2				SARJA 3				SARJA 4		
viilu	m1 (g)	m2 (g)	m3 (g)	viilu	m1 (g)	m2 (g)	m3 (g)	viilu	m1 (g)	m2 (g)	m3 (g)	viilu	m1 (g)	m3 (g)
1.1	1384	1386	826	2.1	1376	1396	836	3.1	1330	1391	818	4.1	1242	889
1.2	1622	1607	833	2.2	1666	1648	828	3.2	1504	1510	830	4.2	1818	945
1.3	1648	1632	795	2.3	1810	1784	840	3.3	1760	1740	848	4.3	2036	970
1.4	1896	1841	824	2.4	1880	1837	813	3.4	1822	1798	836	4.4	1992	929
1.5	1918	1851	814	2.5	1958	1900	817	3.5	1964	1906	831	4.5	2220	963
1.6	1858	1778	758	2.6	1972	1897	835	3.6	1956	1883	817	4.6	2270	959
1.7	1348	1360	738	2.7	1484	1489	785	3.7	1244	1270	745	4.7	1280	829
1.8	1586	1559	711	2.8	1782	1736	795	3.8	1686	1667	779	4.8	1694	886
1.9	1740	1687	723	2.9	1768	1707	764	3.9	1908	1830	774	4.9	2070	922
1.10	1182	1201	722	2.10	1162	1172	747	3.10	1070	1094	712	4.10	1162	815
1.11	1450	1441	730	2.11	1524	1516	792	3.11	1490	1471	786	4.11	1478	890
1.12	1690	1645	727	2.12	1746	1679	781	3.12	1796	1728	796	4.12	2016	952
1.13	946	968	671	2.13	954	969	663	3.13	998	1024	710	4.13	1126	808
1.14	1098	1106	714	2.14	1000	1018	674	3.14	1068	1087	733	4.14	1094	769
1.15	1376	1385	749	2.15	1278	1286	763	3.15	1204	1216	712	4.15	1408	896
1.16	1204	1190	674	2.16	1128	1143	676	3.16	996	1011	681	4.16	1122	775
1.17	1174	1151	609	2.17	1472	1430	660	3.17	1404	1354	680	4.17	1332	779
1.18	1658	1596	651	2.18	1698	1643	681	3.18	1454	1399	665	4.18	1906	758
1.19	1770	1686	620	2.19	1786	1700	673	3.19	1934	1806	713	4.19	2006	812
1.20	1808	1720	642	2.20	1934	1829	676	3.20	1910	1780	690	4.20	2144	787
1.21	1828	1735	654	2.21	1926	1811	677	3.21	1940	1807	689	4.21	2108	755
1.22	1640	1541	590	2.22	1806	1701	653	3.22	1866	1738	662	4.22	2074	746
1.23	1194	1189	656	2.23	1114	1139	699	3.23	1168	1166	667	4.23	1134	762
1.24	1316	1296	651	2.24	1654	1586	684	3.24	1244	1221	676	4.24	1662	811
1.25	1772	1689	671	2.25	1684	1622	694	3.25	1708	1612	697	4.25	1842	774
1.26	1930	1824	677	2.26	1862	1761	705	3.26	1976	1853	709	4.26	2054	800
1.27	1892	1789	682	2.27	1966	1853	732	3.27	2002	1861	701	4.27	2204	808
1.28	1854	1745	652	2.28	1964	1850	727	3.28	1970	1836	699	4.28	2254	828
1.29	1748	1643	612	2.29	1834	1724	681	3.29	1880	1748	654	4.29	2158	795
1.30	1168	1170	660	2.30	1190	1198	710	3.30	1092	1097	672	4.30	1170	778
1.31	1380	1350	643	2.31	1484	1457	696	3.31	1302	1274	674	4.31	1556	842
1.32	1698	1641	659	2.32	1738	1671	695	3.32	1638	1550	694	4.32	1840	806
1.33	1804	1716	651	2.33	1898	1813	723	3.33	1868	1751	714	4.33	2166	842
1.34	1806	1719	652	2.34	1954	1858	703	3.34	1928	1810	716	4.34	2278	836
1.35	1800	1717	636	2.35	1894	1803	686	3.35	1928	1800	721	4.35	2276	839
1.36	1694	1621	601	2.36	1810	1716	645	3.36	1888	1753	675	4.36	2190	812
1.37	1376	1394	813	2.37	1288	1296	783	3.37	1196	1219	811	4.37	1304	874
1.38	1704	1701	796	2.38	1592	1585	804	3.38	1550	1545	813	4.38	1616	909
1.39	1816	1798	782	2.39	1804	1786	813	3.39	1852	1829	837	4.39	1994	946
1.40	1940	1912	815	2.40	1878	1852	801	3.40	1936	1907	824	4.40	2100	948

Taulukko 23: Punnitustulokset, viilut 41-80

SARJA 1				SARJA 2				SARJA 3				SARJA 4		
viilu	m1 (g)	m2 (g)	m3 (g)	viilu	m1 (g)	m2 (g)	m3 (g)	viilu	m1 (g)	m2 (g)	m3 (g)	viilu	m1 (g)	m3 (g)
1.41	1932	1888	794	2.41	1966	1915	807	3.41	1972	1926	815	4.41	2180	917
1.42	1884	1858	778	2.42	1920	1878	783	3.42	1952	1892	782	4.42	2234	910
1.43	1074	1105	722	2.43	1176	1208	775	3.43	1250	1276	767	4.43	1346	878
1.44	1044	1067	731	2.44	1086	1111	789	3.44	1216	1235	780	4.44	1386	902
1.45	1538	1540	791	2.45	1510	1500	800	3.45	1364	1366	770	4.45	1410	880
1.46	1730	1716	786	2.46	1828	1791	803	3.46	1714	1690	810	4.46	1896	932
1.47	1866	1842	789	2.47	1944	1890	811	3.47	1884	1840	807	4.47	2194	927
1.48	1792	1750	735	2.48	1978	1924	797	3.48	1936	1877	792	4.48	2350	951
1.49	1118	1150	739	2.49	1146	1169	774	3.49	1120	1153	751	4.49	1256	863
1.50	1132	1145	727	2.50	1170	1172	761	3.50	1144	1168	761	4.50	1314	887
1.51	1042	1056	713	2.51	1146	1150	765	3.51	1132	1135	758	4.51	1356	898
1.52	1434	1462	788	2.52	1320	1337	772	3.52	1250	1270	795	4.52	1258	852
1.53	1838	1817	789	2.53	1858	1831	803	3.53	1734	1716	810	4.53	1866	899
1.54	1930	1894	778	2.54	1966	1429	805	3.54	1932	1890	814	4.54	2190	926
1.55	2030	1980	807	2.55	2012	1958	778	3.55	2010	1945	799	4.55	2170	870
1.56	1928	1870	766	2.56	1974	1912	765	3.56	2004	1936	800	4.56	2260	893
1.57	1688	1685	758	2.57	1568	1573	794	3.57	1400	1416	797	4.57	1470	919
1.58	1868	1844	746	2.58	1940	1920	800	3.58	1882	1849	807	4.58	2152	942
1.59	1752	1746	776	2.59	1726	1724	790	3.59	1438	1448	801	4.59	1506	876
1.60	1820	1794	769	2.60	1954	1913	771	3.60	1884	1848	811	4.60	1986	901
1.61	1642	1654	796	2.61	1482	1509	791	3.61	1174	1203	765	4.61	1362	863
1.62	1604	1605	778	2.62	1870	1873	821	3.62	1614	1624	799	4.62	1724	887
1.63	1818	1806	776	2.63	1734	1728	798	3.63	1950	1923	794	4.63	2038	717
1.64	1608	1595	709	2.64	1884	1852	796	3.64	1790	1774	772	4.64	2080	888
1.65	1038	1043	580	2.65	1014	1019	614	3.65	1190	1168	584	4.65	1028	688
1.66	1252	1205	579	2.66	1568	1477	614	3.66	1090	1067	594	4.66	1474	687
1.67	1690	1589	618	2.67	1346	1279	630	3.67	1490	1384	603	4.67	1666	726
1.68	1552	1473	641	2.68	1712	1617	643	3.68	1622	1449	625	4.68	1760	707
1.69	1876	1756	668	2.69	1672	1544	667	3.69	1790	1586	647	4.69	1980	706
1.70	1828	1710	668	2.70	1908	1748	656	3.70	1894	1636	651	4.70	2028	762
1.71	1724	1606	563	2.71	1788	1637	603	3.71	1960	1723	637	4.71	2278	768
1.72	1760	1632	573	2.72	1770	1626	573	3.72	1746	1526	574	4.72	2036	671
1.73	1748	1606	548	2.73	1726	1576	567	3.73	1802	1578	576	4.73	1956	629
1.74	934	924	578	2.74	914	922	587	3.74	960	953	618	4.74	1044	678
1.75	930	941	601	2.75	916	926	584	3.75	972	972	606	4.75	1102	695
1.76	1072	1063	587	2.76	1046	1040	600	3.76	974	981	620	4.76	1270	688
1.77	1448	1392	592	2.77	1206	1170	589	3.77	1302	1235	618	4.77	1378	690
1.78	1550	1475	581	2.78	1354	1312	611	3.78	1600	1472	622	4.78	1796	724
1.79	1524	1450	615	2.79	1640	1529	636	3.79	1498	1366	637	4.79	1912	738
1.80	1748	1646	654	2.80	1678	1560	636	3.80	1726	1556	671	4.80	1976	756

Taulukko 24: Punnitustulokset, viilut 81-120

SARJA 1				SARJA 2				SARJA 3				SARJA 4		
viilu	m1 (g)	m2 (g)	m3 (g)	viilu	m1 (g)	m2 (g)	m3 (g)	viilu	m1 (g)	m2 (g)	m3 (g)	viilu	m1 (g)	m3 (g)
1.81	1788	1669	665	2.81	1820	1675	678	3.81	1788	1616	683	4.81	2088	757
1.82	1934	1824	669	2.82	1890	1724	686	3.82	1882	1707	682	4.82	2112	746
1.83	1884	1755	642	2.83	1904	1752	673	3.83	1966	1796	643	4.83	2126	693
1.84	1740	1625	572	2.84	1754	1611	585	3.84	1872	1718	636	4.84	1984	666
1.85	1402	1400	745	2.85	1204	1214	731	3.85	1270	1255	695	4.85	1250	772
1.86	1666	1635	725	2.86	1698	1660	739	3.86	1430	1399	707	4.86	1610	784
1.87	1848	1805	737	2.87	1718	1674	741	3.87	1838	1762	724	4.87	1818	817
1.88	1912	1856	744	2.88	1880	1816	732	3.88	1882	1806	743	4.88	1996	793
1.89	1912	1847	710	2.89	1928	1859	750	3.89	1938	1836	724	4.89	2154	831
1.90	1756	1698	664	2.90	1874	1808	739	3.90	1919	1821	710	4.90	2192	861
1.91	1422	1459	705	2.91	1172	1255	648	3.91	1066	1106	650	4.91	1052	694
1.92	1688	1691	677	2.92	1542	1551	647	3.92	1482	1481	661	4.92	1502	714
1.93	1800	1757	628	2.93	1756	1711	623	3.93	1724	1669	646	4.93	1878	741
1.94	1824	1763	616	2.94	1876	1808	643	3.94	1852	1763	641	4.94	2052	740
1.95	1208	1231	662	2.95	978	1007	617	3.95	1162	1171	650	4.95	1140	706
1.96	1610	1593	712	2.96	1308	1299	671	3.96	1224	1217	662	4.96	1502	762
1.97	1528	1516	707	2.97	1614	1597	679	3.97	1632	1607	748	4.97	1578	783
1.98	1752	1738	703	2.98	1860	1814	718	3.98	1632	1592	722	4.98	2012	781
1.99	2060	2024	773	2.99	1836	1798	719	3.99	1934	1863	755	4.99	1964	798
1.100	1976	1931	734	2.100	1902	1848	712	3.100	1990	1918	771	4.100	2136	835
1.101	1918	1868	712	2.101	1920	1846	707	3.101	1970	1892	729	4.101	2200	826
1.102	1844	1802	721	2.102	1890	1819	711	3.102	1984	1902	732	4.102	2178	800
1.103	1452	1479	690	2.103	1332	1372	675	3.103	1302	1332	671	4.103	1410	751
1.104	1512	1525	654	2.104	1502	1502	660	3.104	1556	1541	662	4.104	1654	767
1.105	1646	1626	647	2.105	1702	1661	637	3.105	1686	1631	630	4.105	1806	737
1.106	1684	1637	607	2.106	1674	1609	617	3.106	1802	1713	634	4.106	1896	713
1.107	1288	1325	668	2.107	1148	1178	622	3.107	1066	1102	629	4.107	1082	676
1.108	1512	1518	650	2.108	1446	1447	639	3.108	1396	1387	637	4.108	1512	734
1.109	1664	1648	656	2.109	1616	1590	645	3.109	1624	1585	648	4.109	1756	740
1.110	1880	1834	648	2.110	1746	1692	635	3.110	1696	1647	620	4.110	1790	685
1.111	1724	1702	617	2.111	1712	1652	584	3.111	1736	1652	609	4.111	1890	673
1.112	1380	1435	835	2.112	1264	1320	776	3.112	1392	1431	848	4.112	1326	881
1.113	1556	1583	826	2.113	1412	1418	792	3.113	1662	1663	856	4.113	1704	931
1.114	1724	1738	808	2.114	1598	1592	819	3.114	1532	1542	815	4.114	2014	970
1.115	1592	1616	772	2.115	1610	1593	769	3.115	1620	1680	827	4.115	1874	940
1.116	1814	1825	856	2.116	1616	1622	827	3.116	1460	1486	828	4.116	1466	931
1.117	1920	1920	853	2.117	1904	1876	842	3.117	1910	1880	863	4.117	2022	948
1.118	1860	1878	833	2.118	1806	1759	820	3.118	1892	1877	884	4.118	2010	910
1.119	1938	1945	841	2.119	1760	1756	807	3.119	1684	1692	835	4.119	1568	854
1.120	1986	2011	879	2.120	1906	1903	818	3.120	1930	1918	843	4.120	2032	900